

Lärmreduktion von Verkehrsflugzeugen

–Stand der Technik und Zukunftsperspektiven–

Gastbeitrag zur Sitzung der Fluglärmschutzkommission Hannover 24.04.18

Jan Delfs

Institute of Aerodynamics and Flow Technology
Technical Acoustics
Braunschweig, Germany
jan.delfs@dlr.de

Lars Enghardt

Institute of Propulsion Technology
Engine Acoustics
Berlin, Germany
lars.enghardt@dlr.de

A large, curved image of the Earth from space occupies the bottom right portion of the slide. It shows a view of the Earth's surface with blue oceans, green landmasses, and white clouds. The curvature of the planet is clearly visible, and the text "Knowledge for Tomorrow" is overlaid on this image.

Knowledge for Tomorrow

Outline

- Quellen des Flugzeuggeräuschs
- Lärminderungstechnologie für derzeitige Flugzeuge
- Zukünftige Entwicklungen - Aktuelle Forschung
- elektrische Antriebe = leise ?
- Schlussfolgerungen



Quellärmforschung im DLR

Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik

- * Umströmungsgeräusch
- * Installation/Gesamtflgzeug
- * Kabinenlärmanregung
- * Helikopter/Propellerlärm
- * Windkanalarrays

Institut für Antriebstechnik

- * Turbomaschinen
- * aktive Lärminder.
- * Überflugarrays

Transversalthemen

- * Simulationstechnologie
 - numerisch
 - experimentell



Quellen des Flugzeuggeräuschs

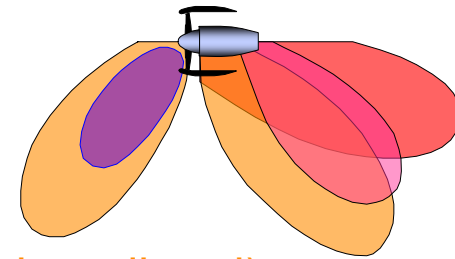


Sources of exterior noise at transport aircraft

➤ Take-off:

engine noise

- jet
- fan tonal (+ broadband)
- (compressor)



➤ Approach:

engine noise

- jet
- fan broadband (+ tonal)
- combustion + turbine

airframe noise

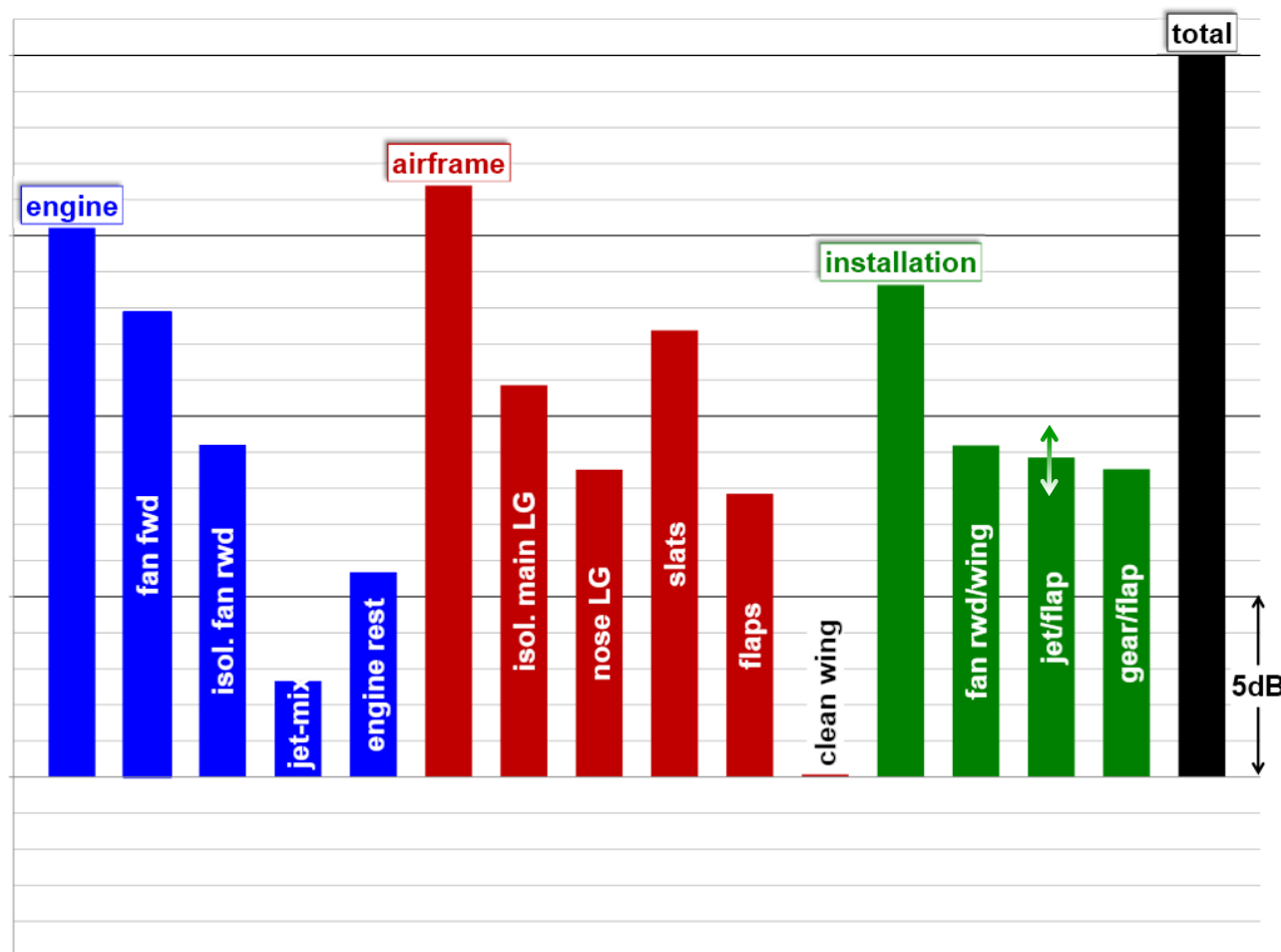
- high lift devices
- landing gears

installation noise



Installation sources – a view on modern tube&wing a/c configurations

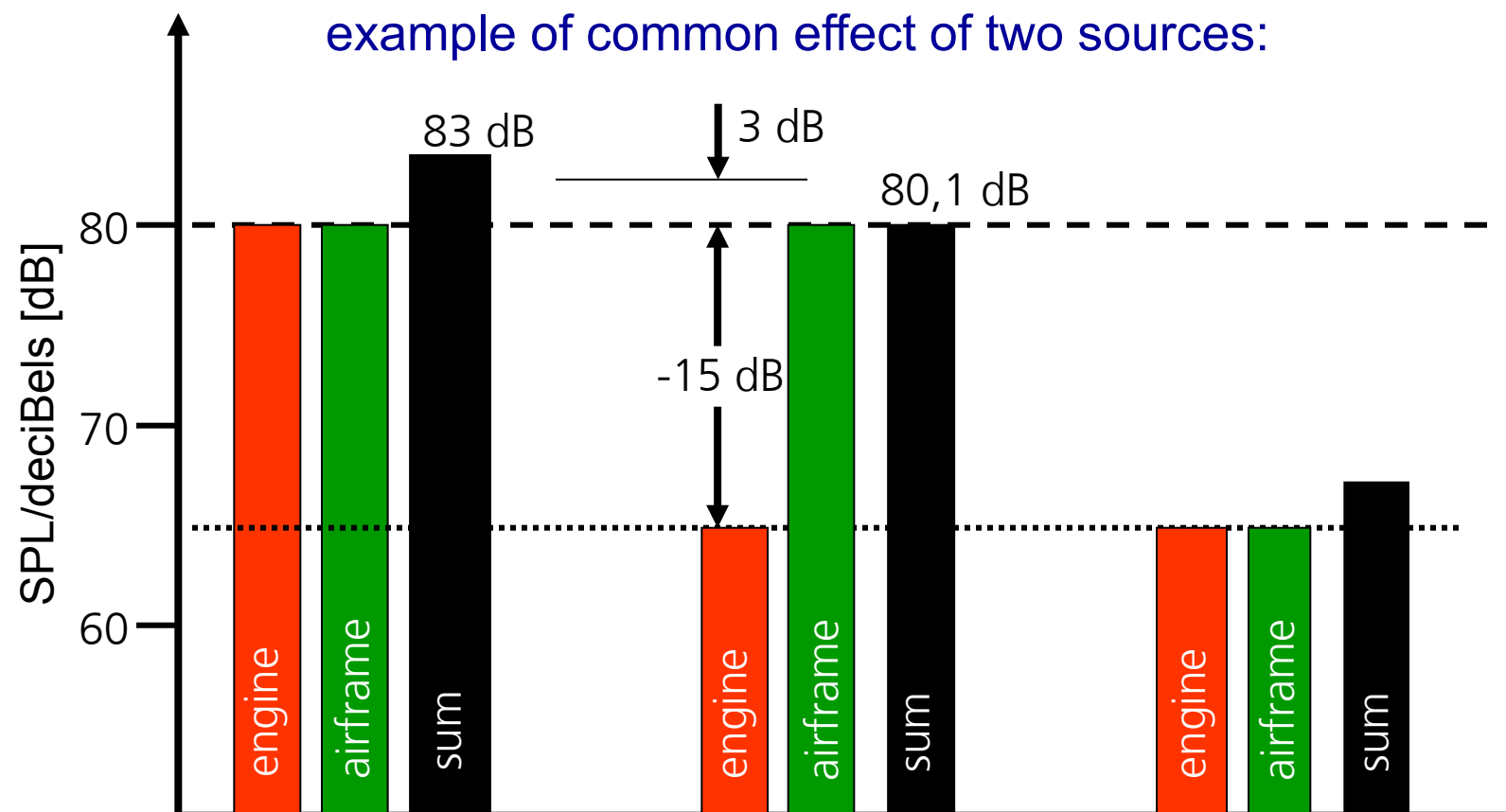
Short to medium range aircraft, BPR 10-12, approach



„complete“
source breakdown

Source noise reduction at complete aircraft

example of common effect of two sources:

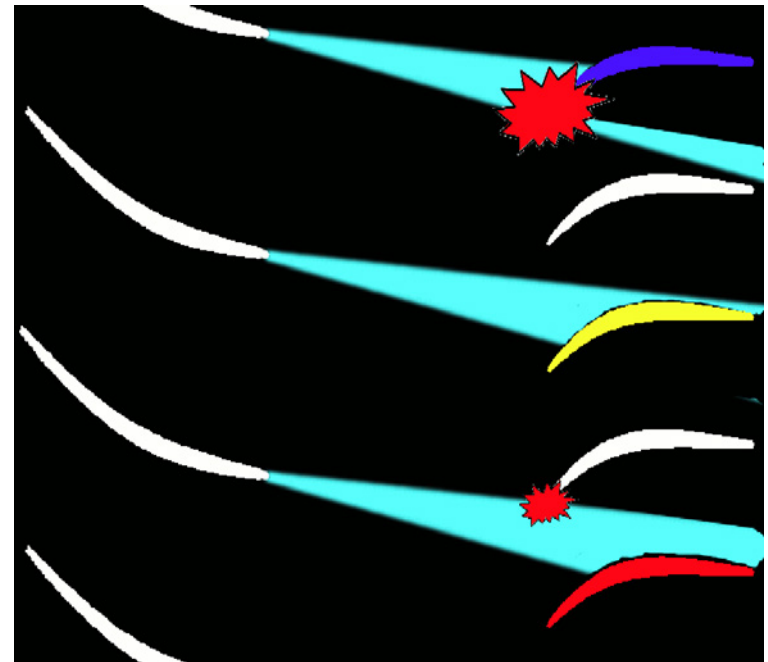
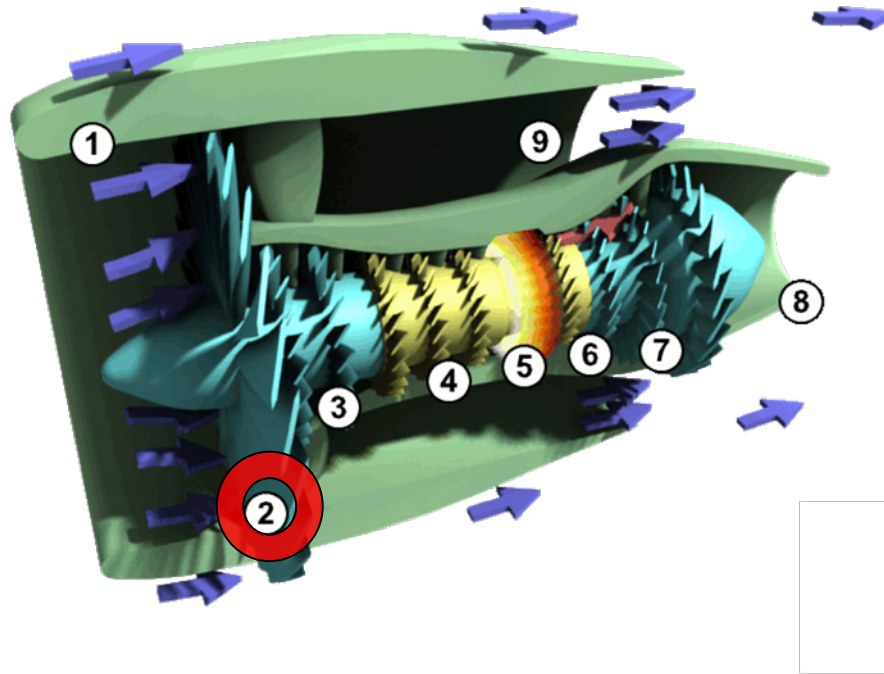


For more silent aircraft
sources of about equal strength have to be reduced altogether!

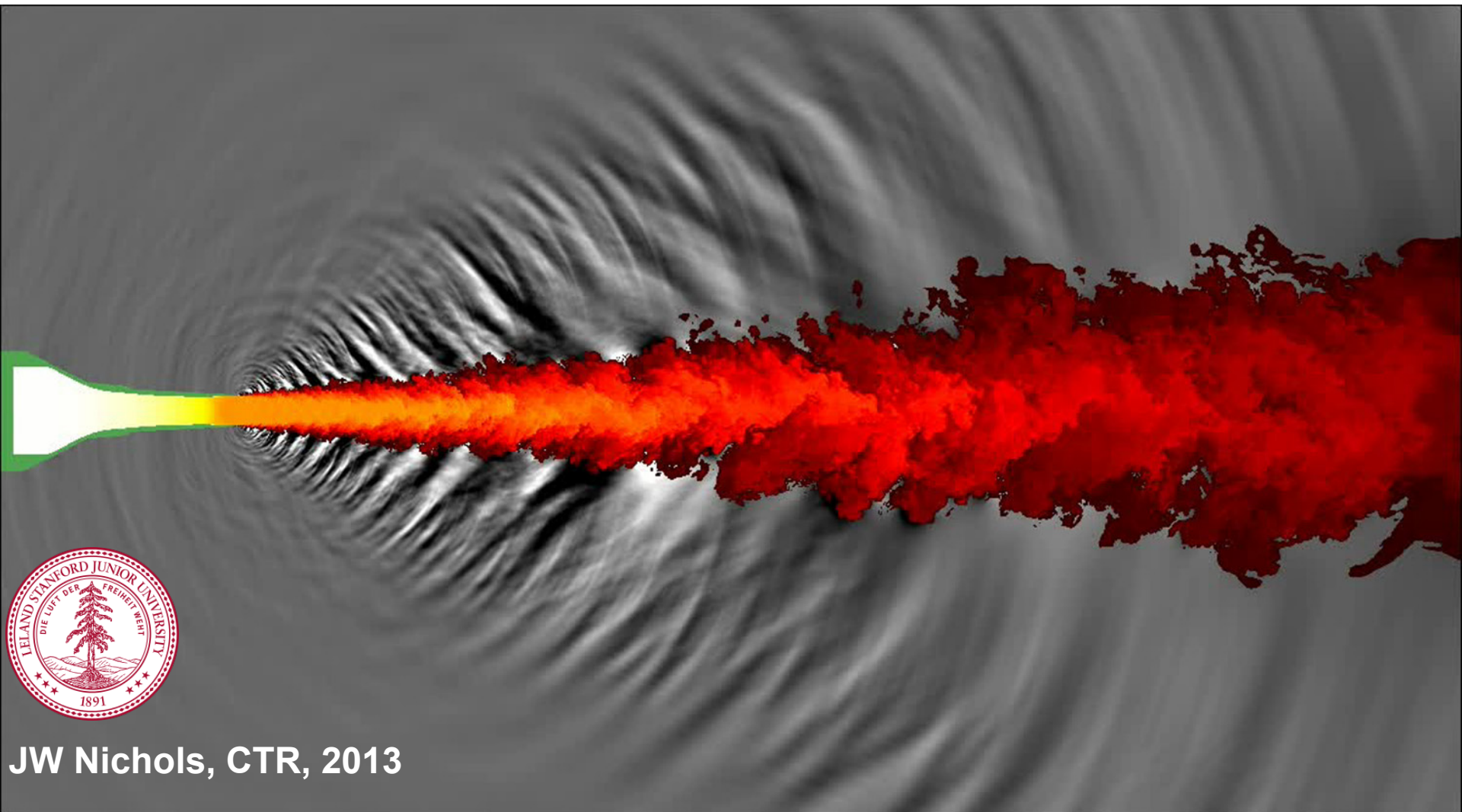


Der Fan als Schallquelle

- Rotor-Stator-Wechselwirkungsgeräusche
- Ursachen
 - Nachläufe (spiralförmig) der Rotorscheaufeln prallen auf die Vorderkanten der Statorschaufeln und erzeugen dort fluktuierende Kräfte.



Der Strahl als Schallquelle

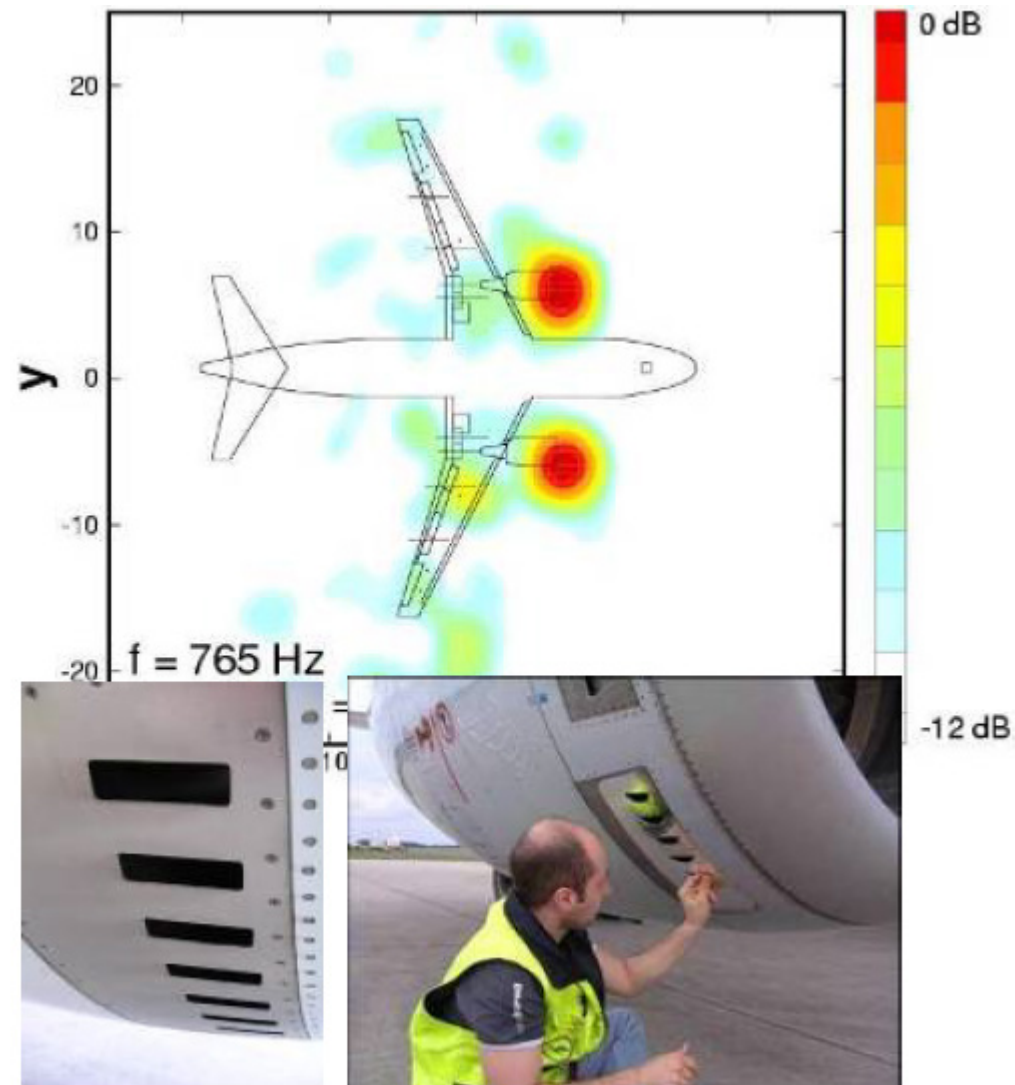


Druck (grau), Temperatur (farbig)

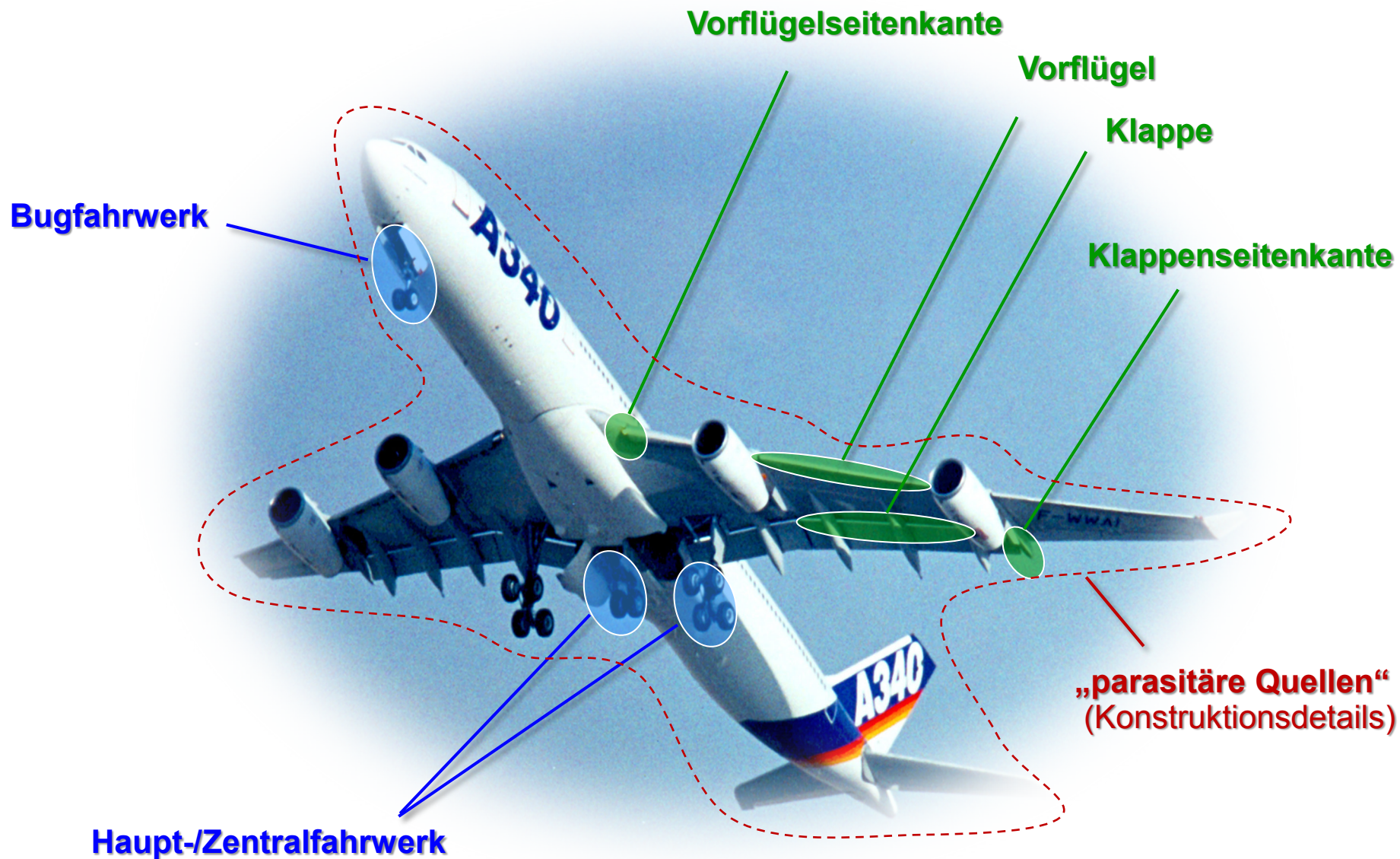


Parasitäre Schallquellen am Triebwerk

Auslässe
Gondel-Enteisungssystem

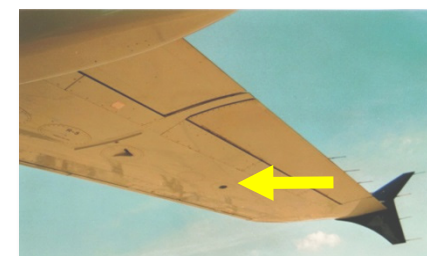
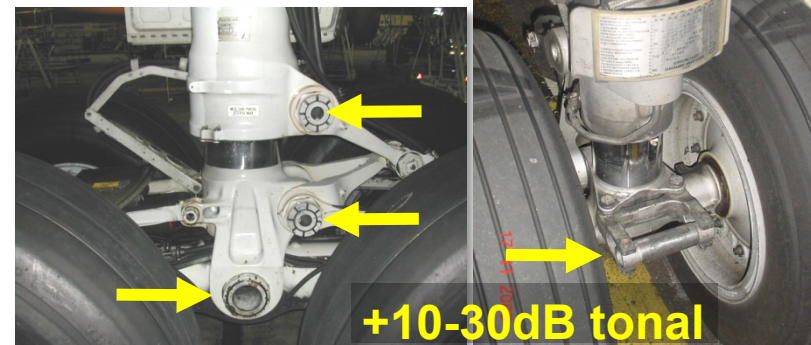


Quellen des Umströmungsgeräuschs am Flugzeug



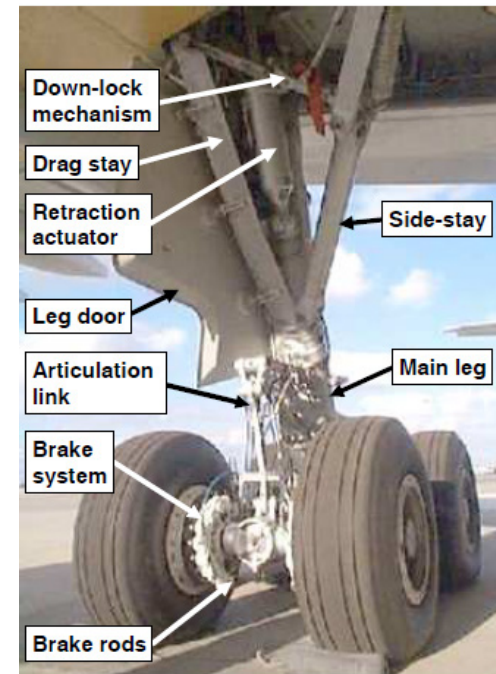
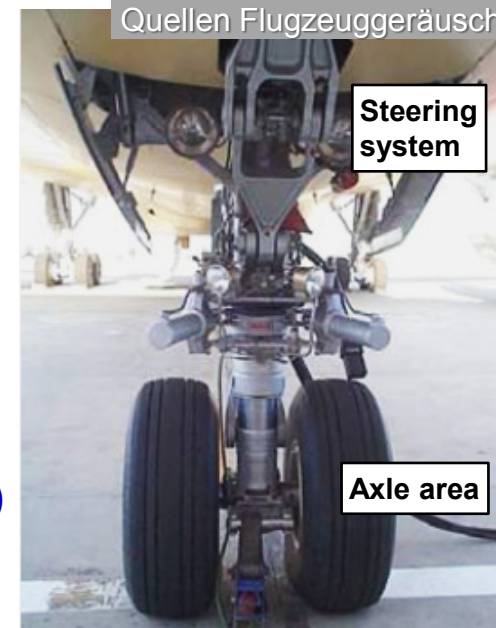
Parasitäre Schallquellen am Flugzeug

- Tonschall bei überströmten Hohlbolzen
- Tonschall von Tankdruckausgleichsöffnungen
- zusätzliches Breitbandgeräusch von Haltern
- zusätzliches Breitbandgeräusch von zurückgesetzten Geometrien

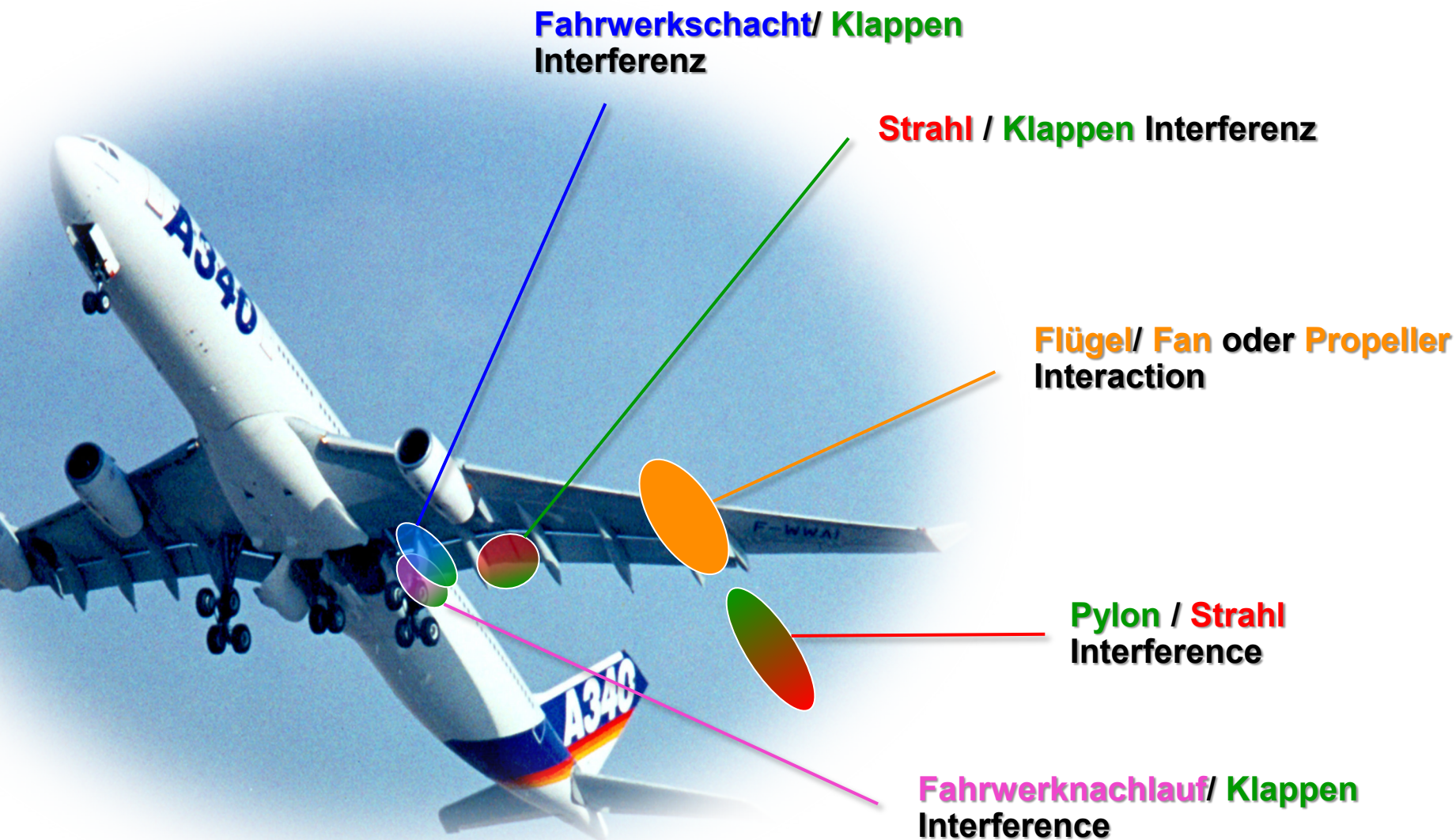


Fahrwerksgeräusch

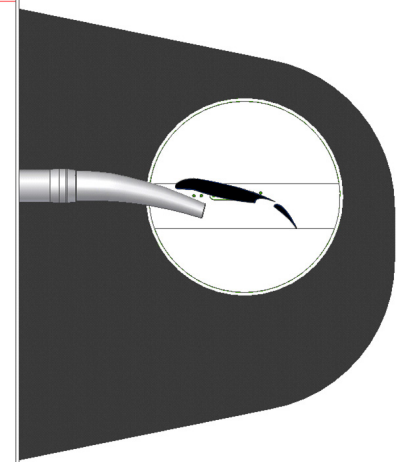
- erhebliche experimentelle Forschung während der vergangenen 15-20 Jahren in EU und USA
- wichtigste Umströmungschallquelle (an Zertifizierungspunkt) speziell für Langstreckenflugzeuge
- Breitbandschall (sehr breitbandig)
- Geschwindigkeit⁶ Skalierung der Intensität
- omnidirektionale Abstrahlung



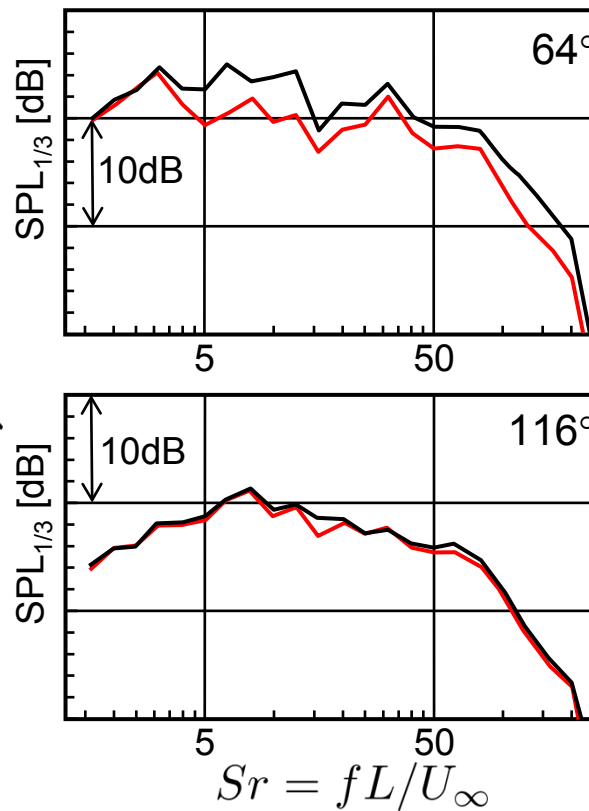
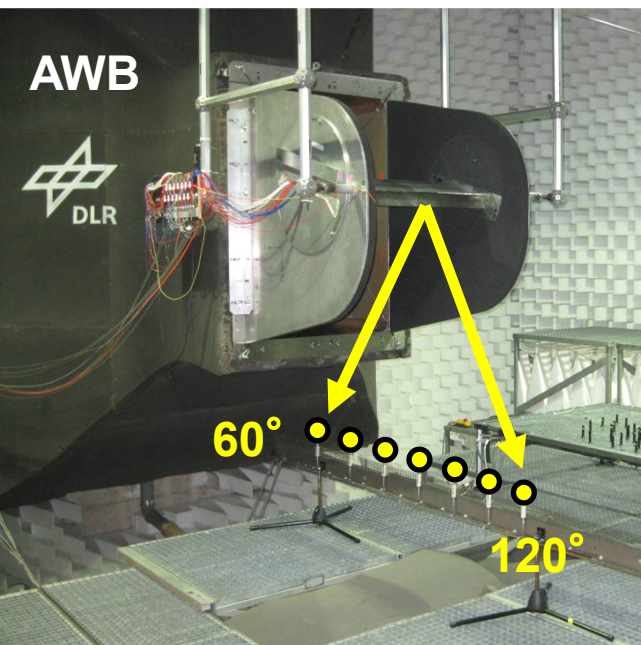
Installationsschallquellen an Flugzeugen



Strahl-Klappen Interferenz

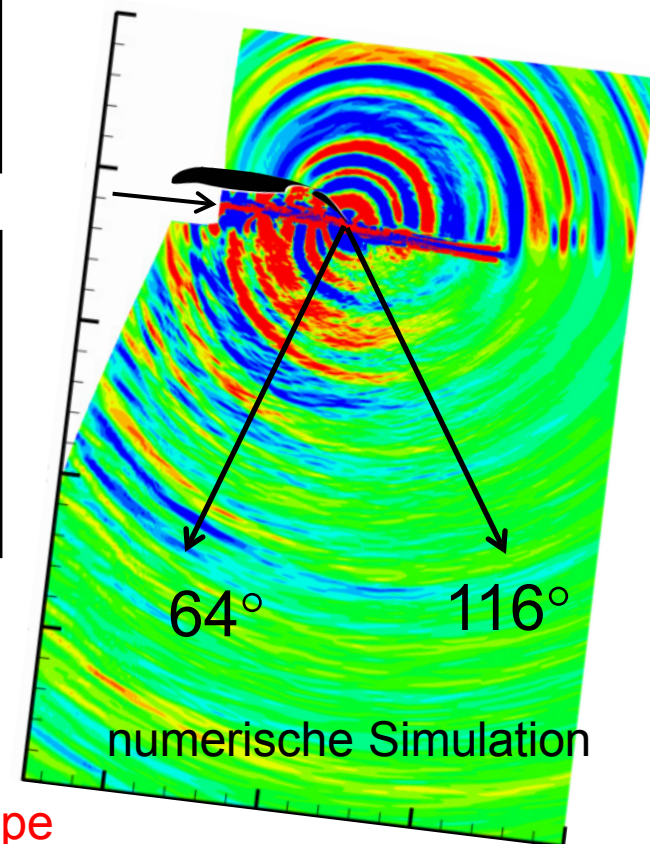


F16 mit Senknase



— Gesamt
 — Summe Strahl+Klappe
 (je isoliert)

Fluggeschw. $U_\infty = 60\text{m/s}$
 Strahlgeschw. $U_{jet} = 185\text{m/s}$

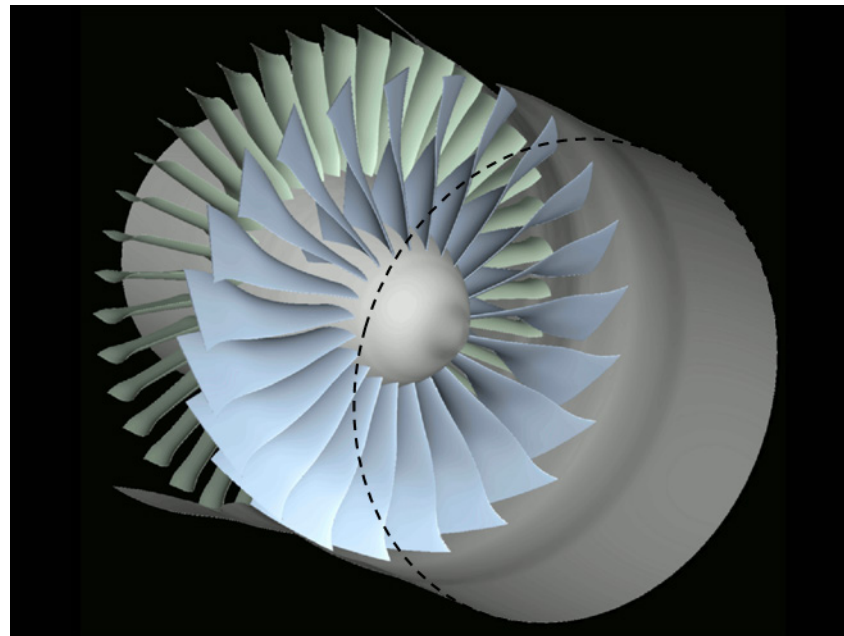


Lärminderungstechnologie für derzeitige Flugzeuge

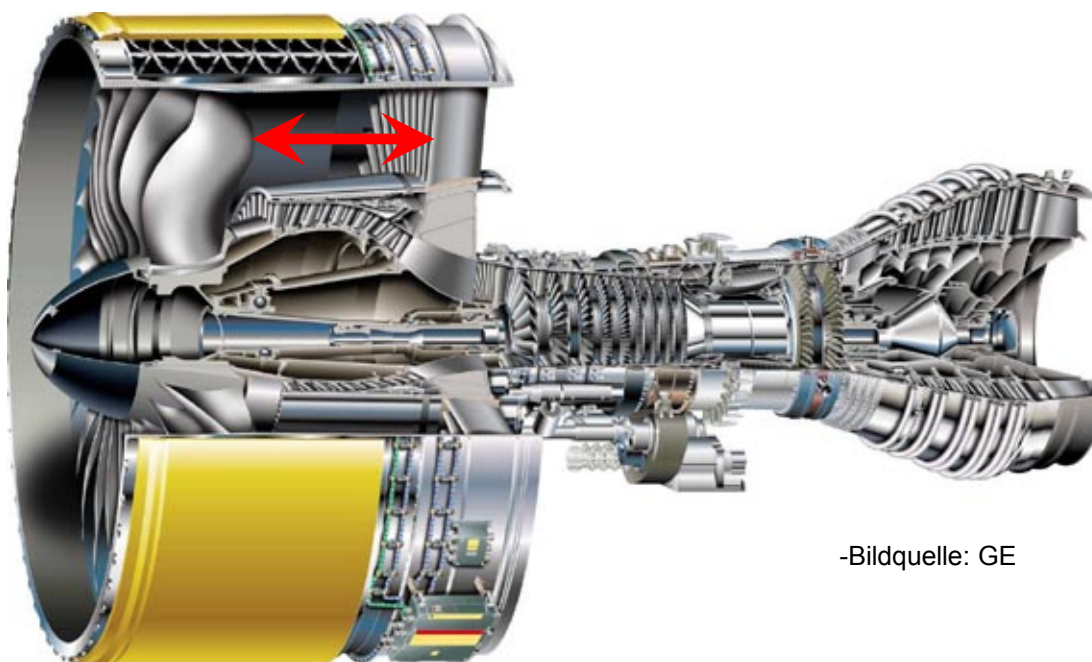


Triebwerkslärminderung – Stand der Technik

- Durch sorgfältige Auswahl der Zahl der Statorschaufeln kann erreicht werden, dass Töne im Triebwerk gefangen bleiben
- Durch Reduktion der Umfangsgeschwindigkeit der Fans wird ein Überschallstoß auf den Schaufeln vermieden und eine starke tonale Quelle beim Start effektiv unterdrückt



Neue Triebwerke mit sehr großem Abstand zwischen Rotor und Stator

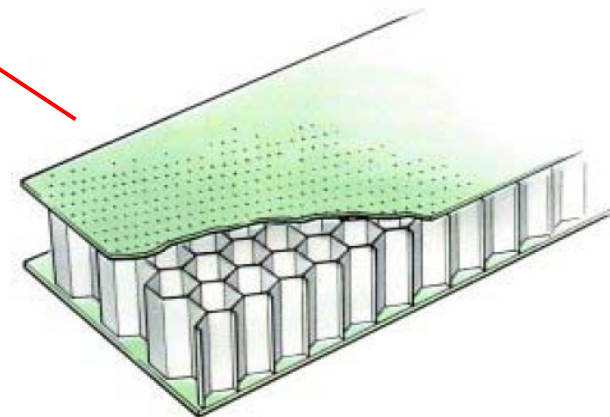
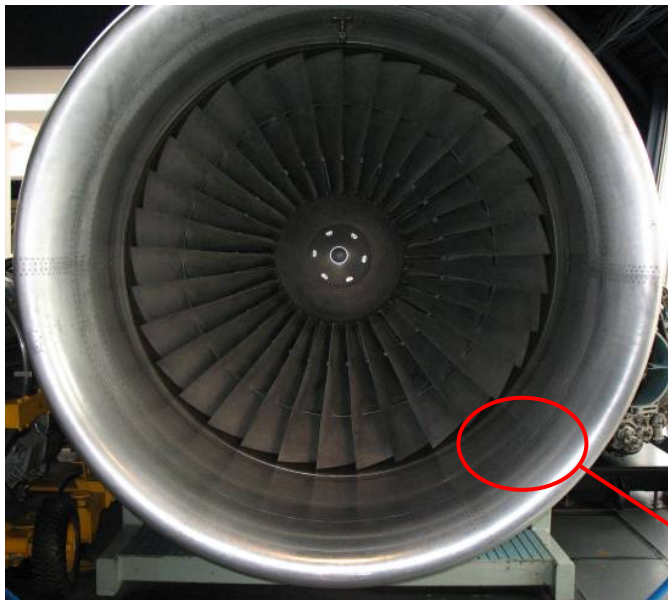


-Bildquelle: GE

GP7200 – eine Triebwerksoption des A380



Passive schalldämpfende Auskleidung (Liner)



Quellen: Pratt &Wittney; Hennecke



Reduktion des Freistrahllärms

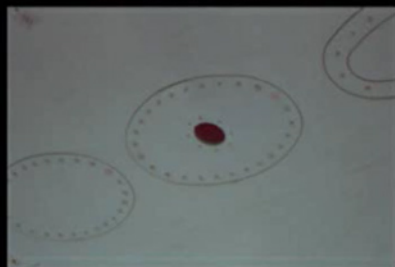


Chevrons an der Boeing 787 vor allem zur Senkung des Kabinenlärms im Reiseflug

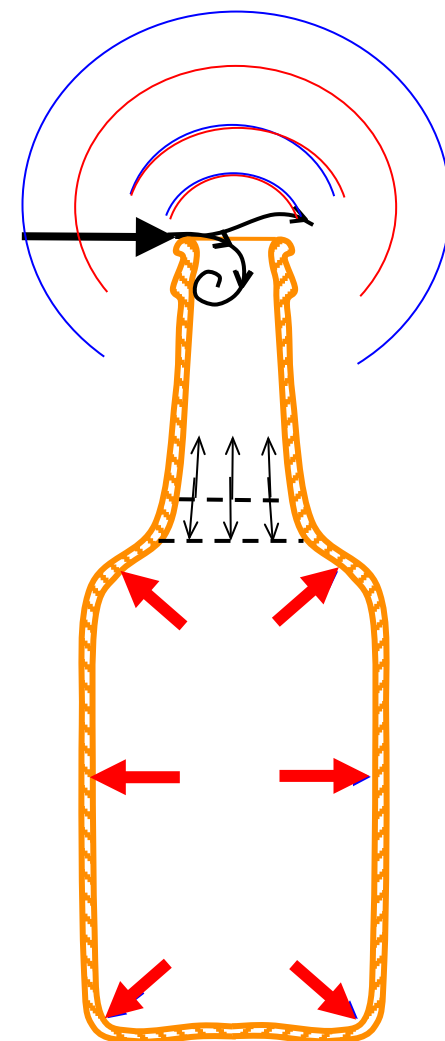
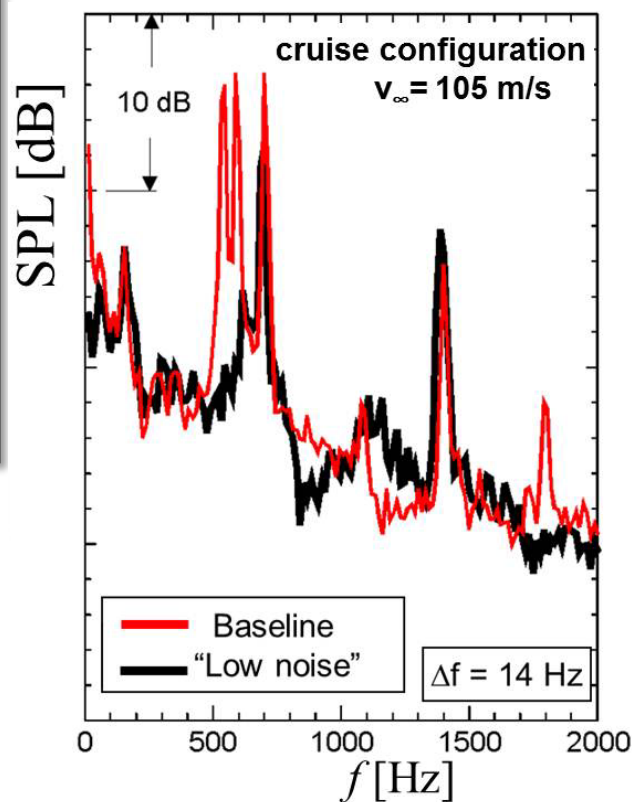


Elimination of parasitic tones at wings

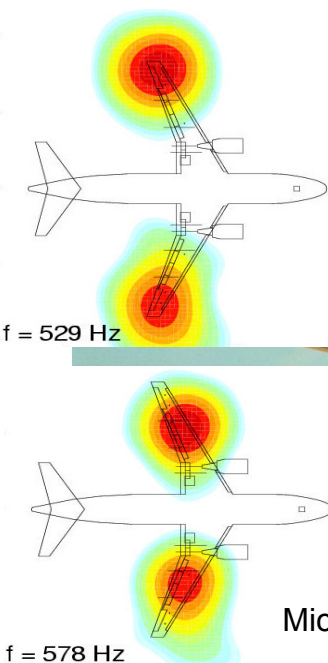
Approach noise of a current short/medium range a/c



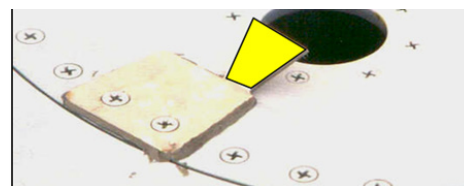
www.a320whine.com



Helmholtz resonator

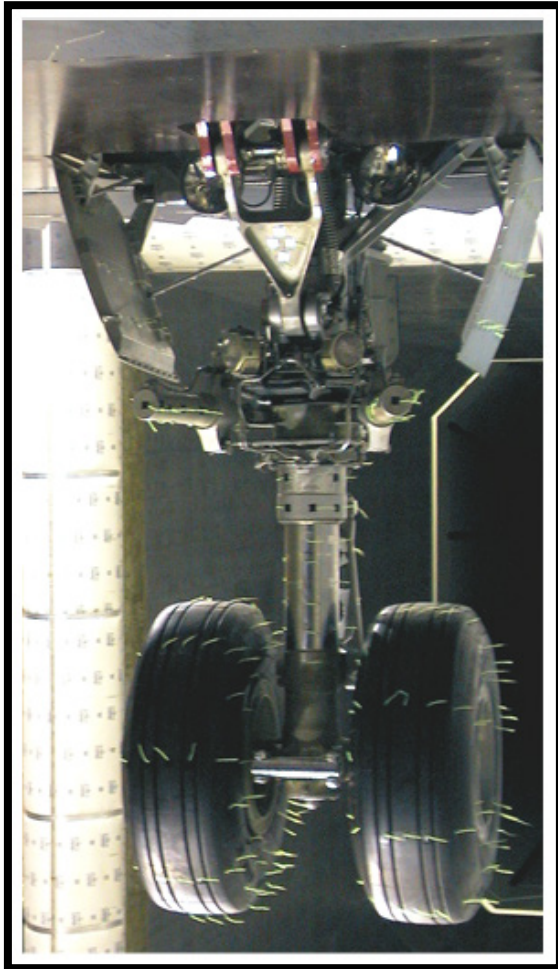


Michel, DLR

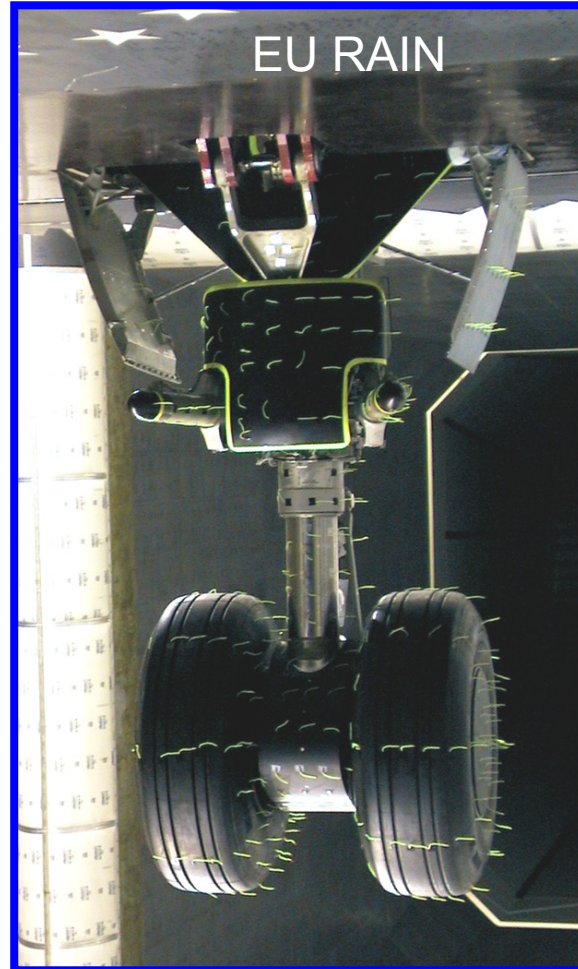


M. Pott-Pollenske et al. 2002

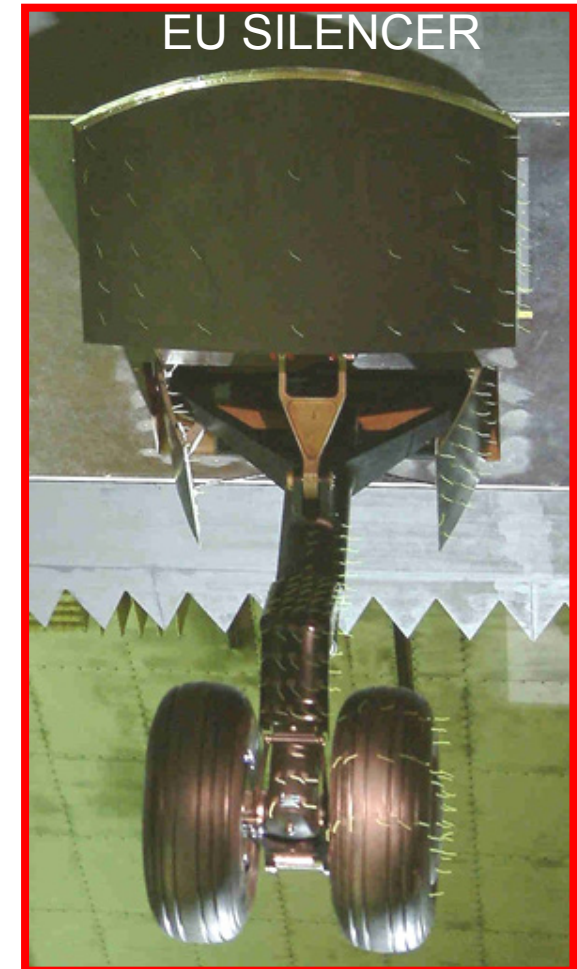
Low noise nose landing gear



A340 nose landing gear



retro-fitted
~ 2.6 dB reduction



low noise NLG
~ 6.3 dB reduction

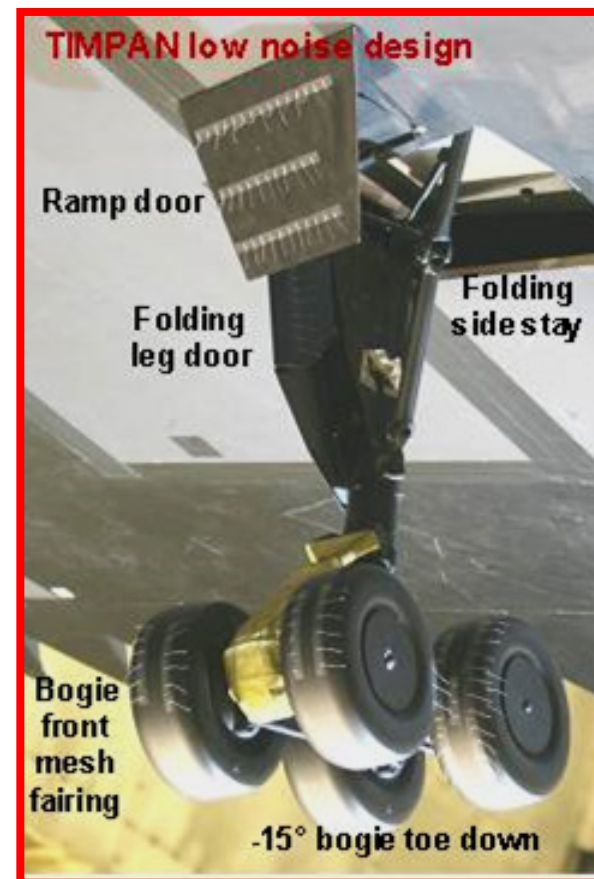
Low noise main landing gear



A340 main landing gear

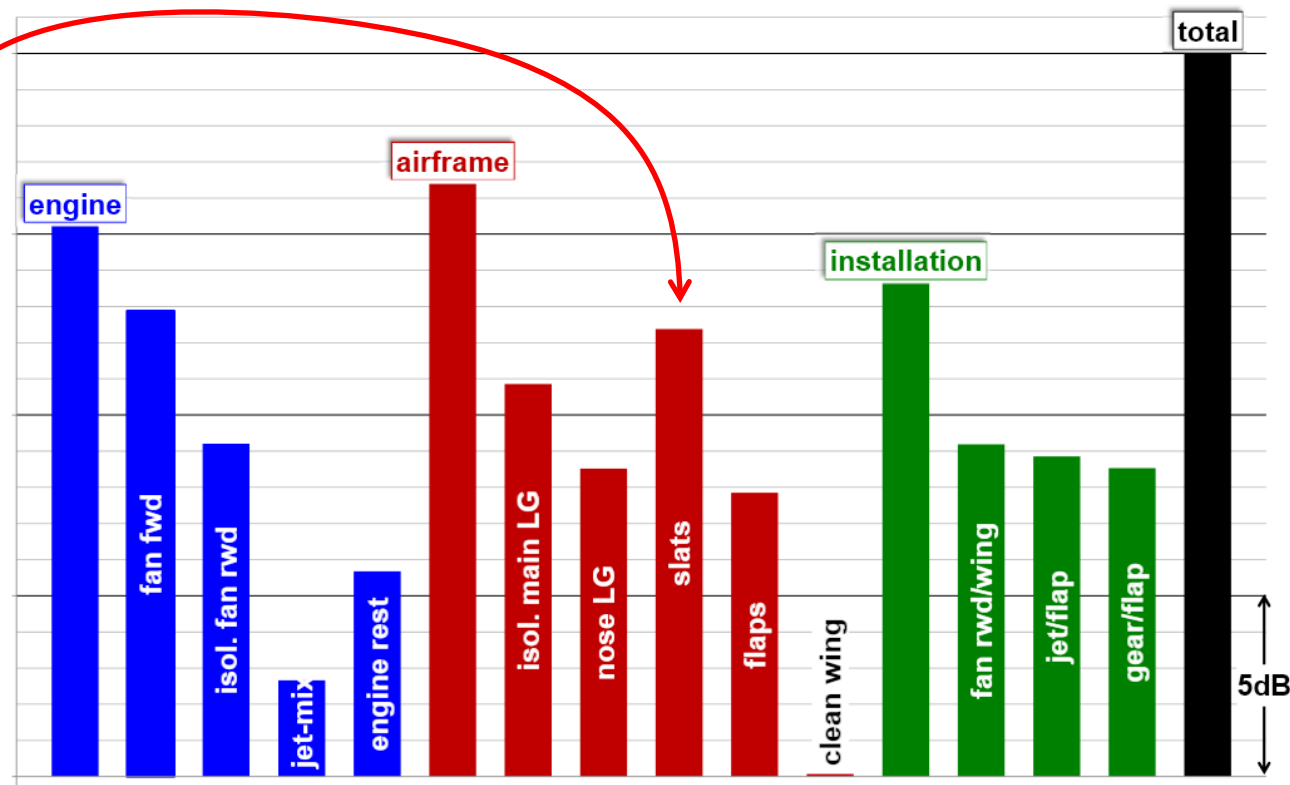


retro fitted
~ 2.5 dB reduction



low noise
8 dB(A) reduction

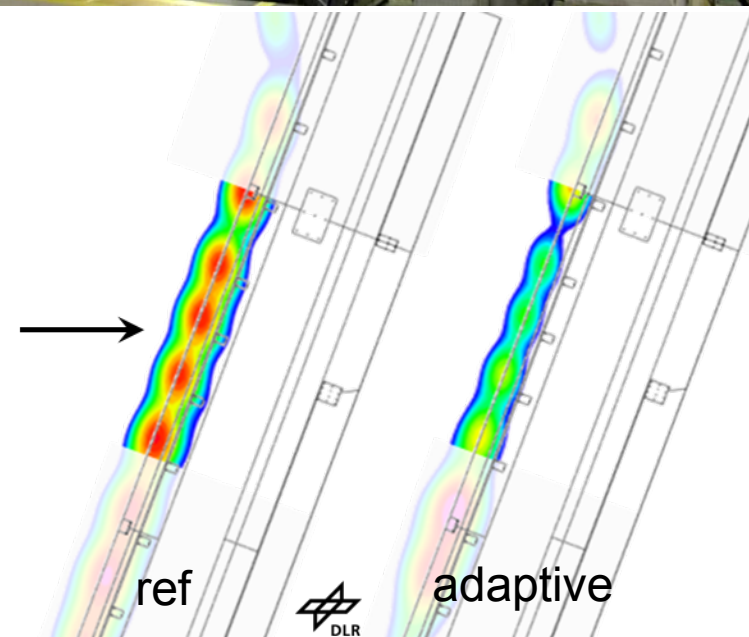
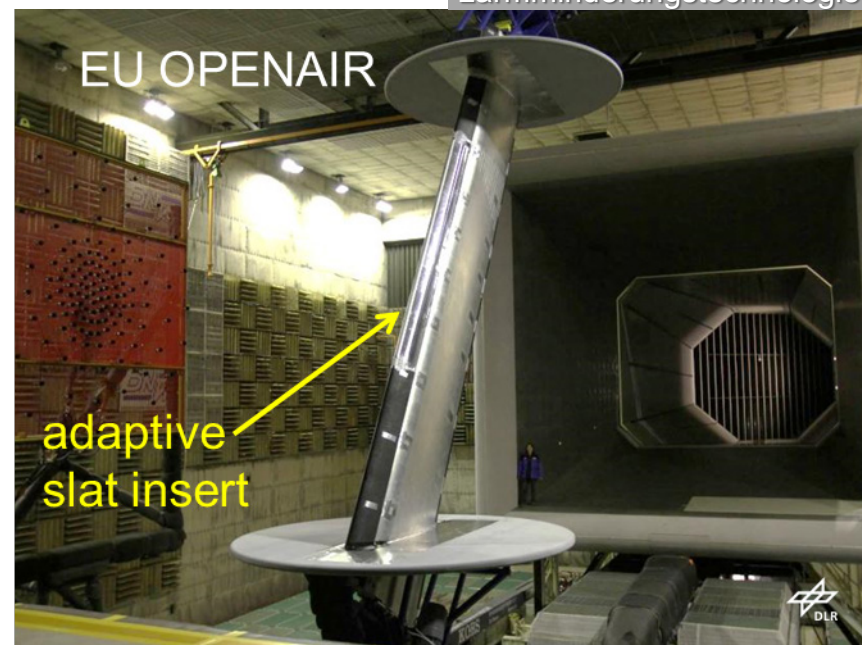
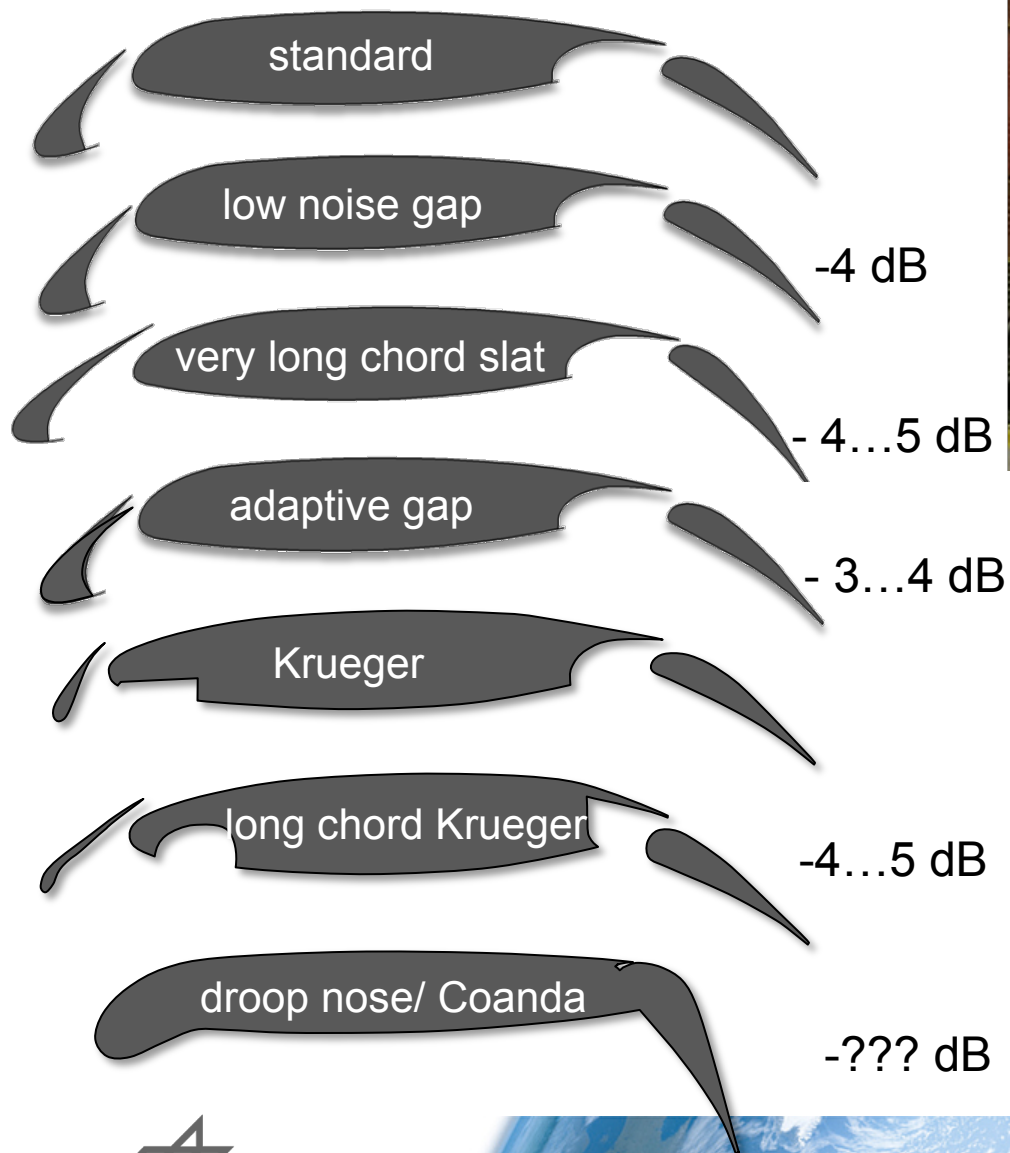
Significance of high lift devices for airframe noise



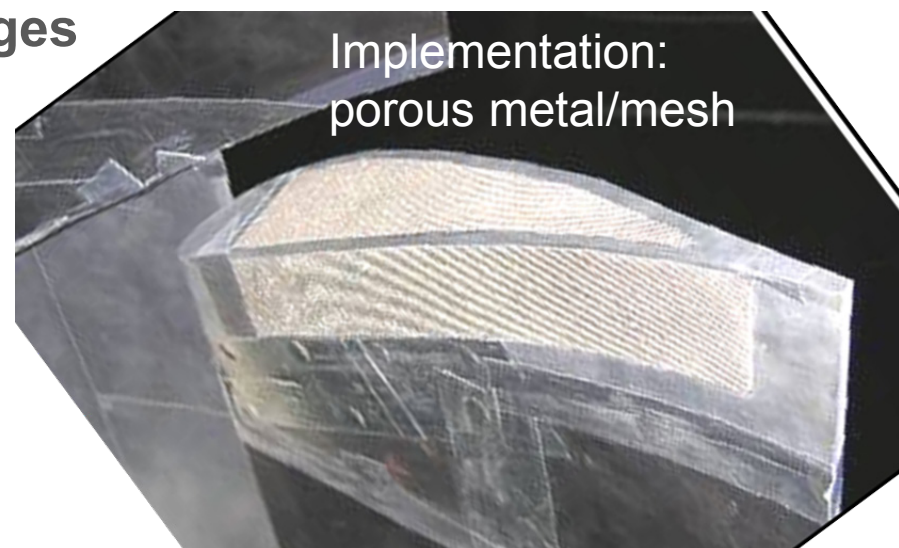
- much more difficult to improve, since aerodynamically highly optimized component
- Significance discovered by DLR (Dobrzynski), 1998



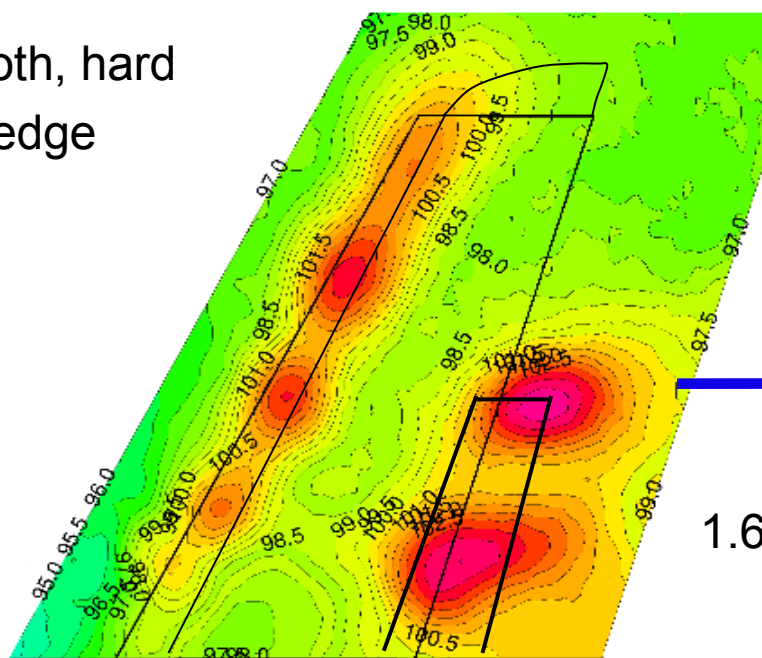
Leises Klappensystem



Noise reduction on flap side edges

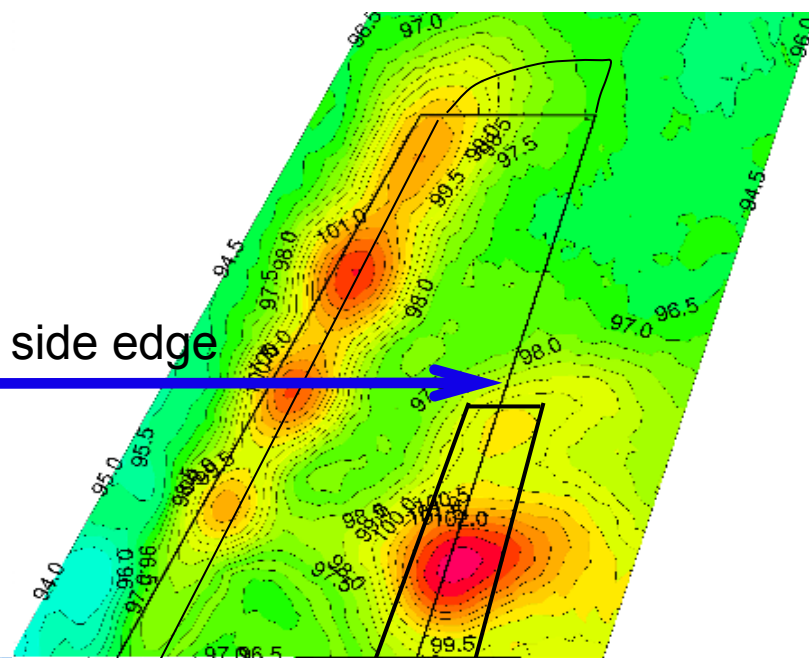


Smooth, hard
side edge



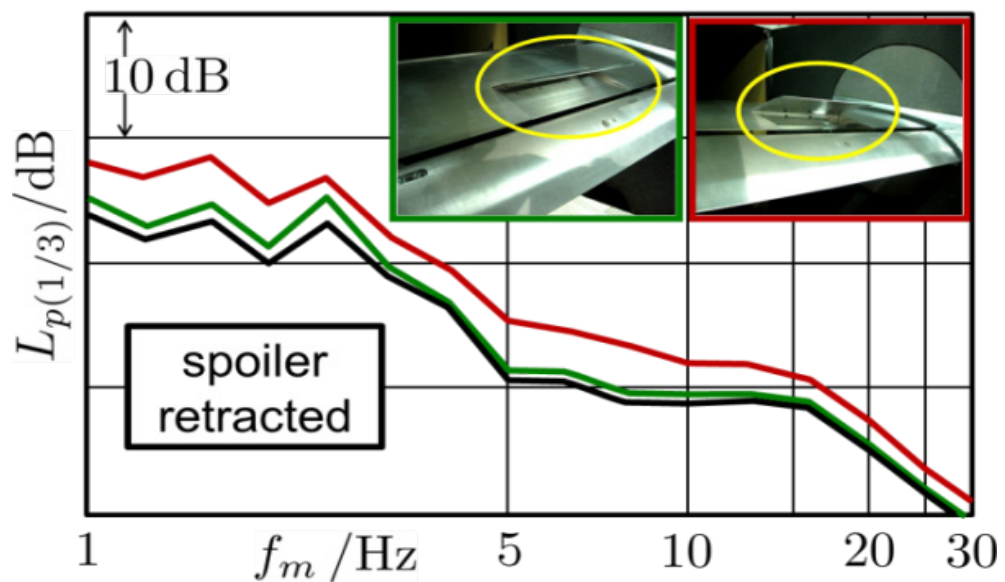
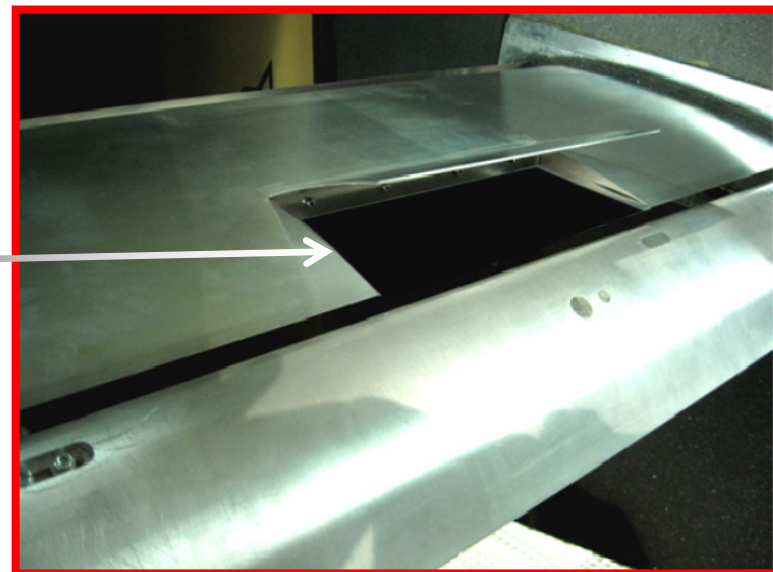
Brush side edge

1.6 kHz



Low noise spoilers

Installation of splitter plate
to shield radiation towards ground



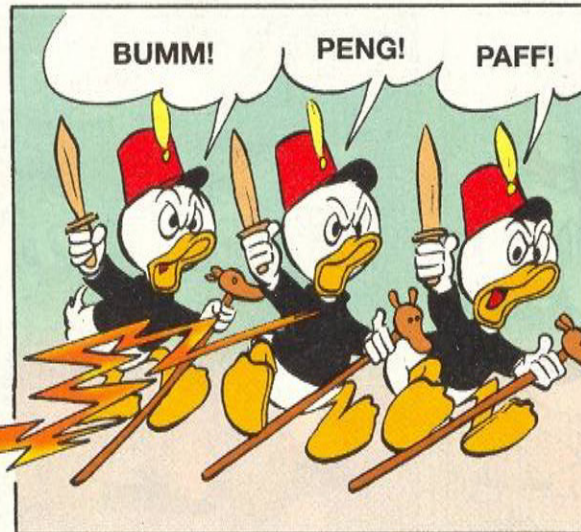
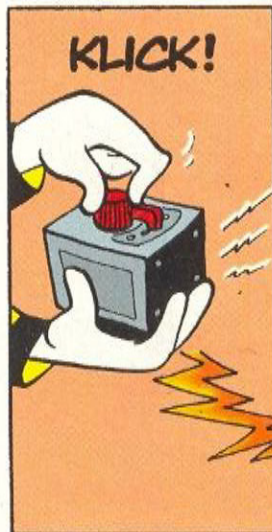
to be flight tested soon...



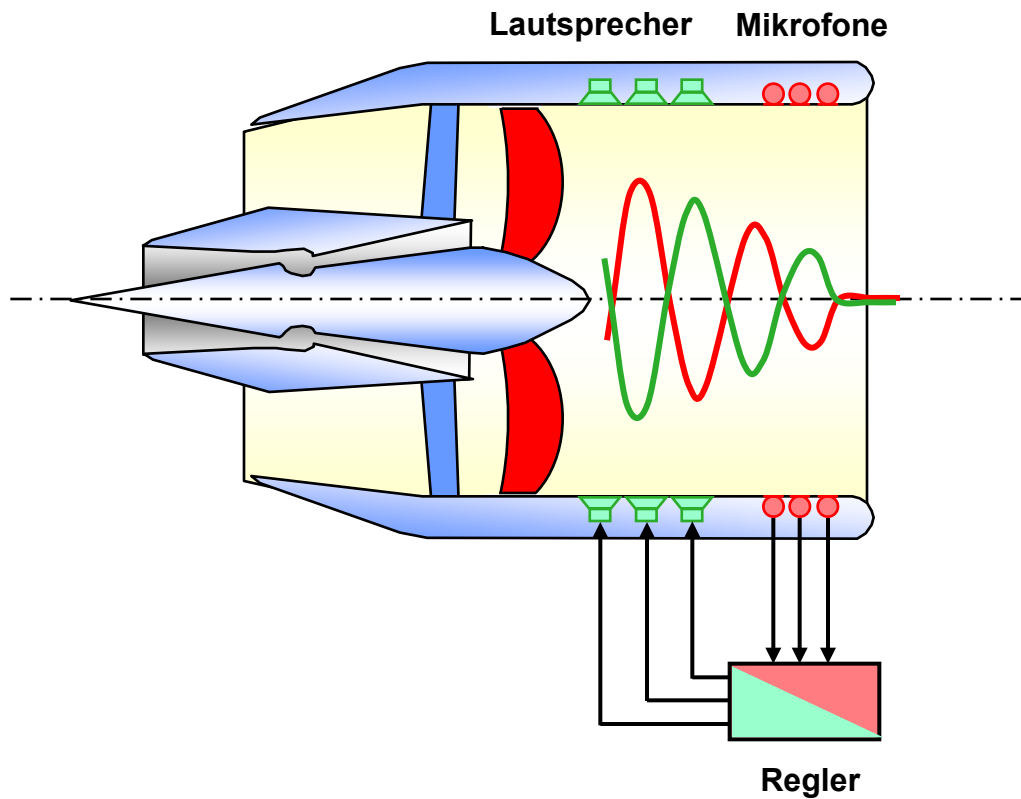
Zukünftige Entwicklungen - Aktuelle Forschung



Aktive Lärminderung – leicht gemacht?



Aktive Lärminderung (ANC) in Flugzeugtriebwerken



Schallfeld - Analyse

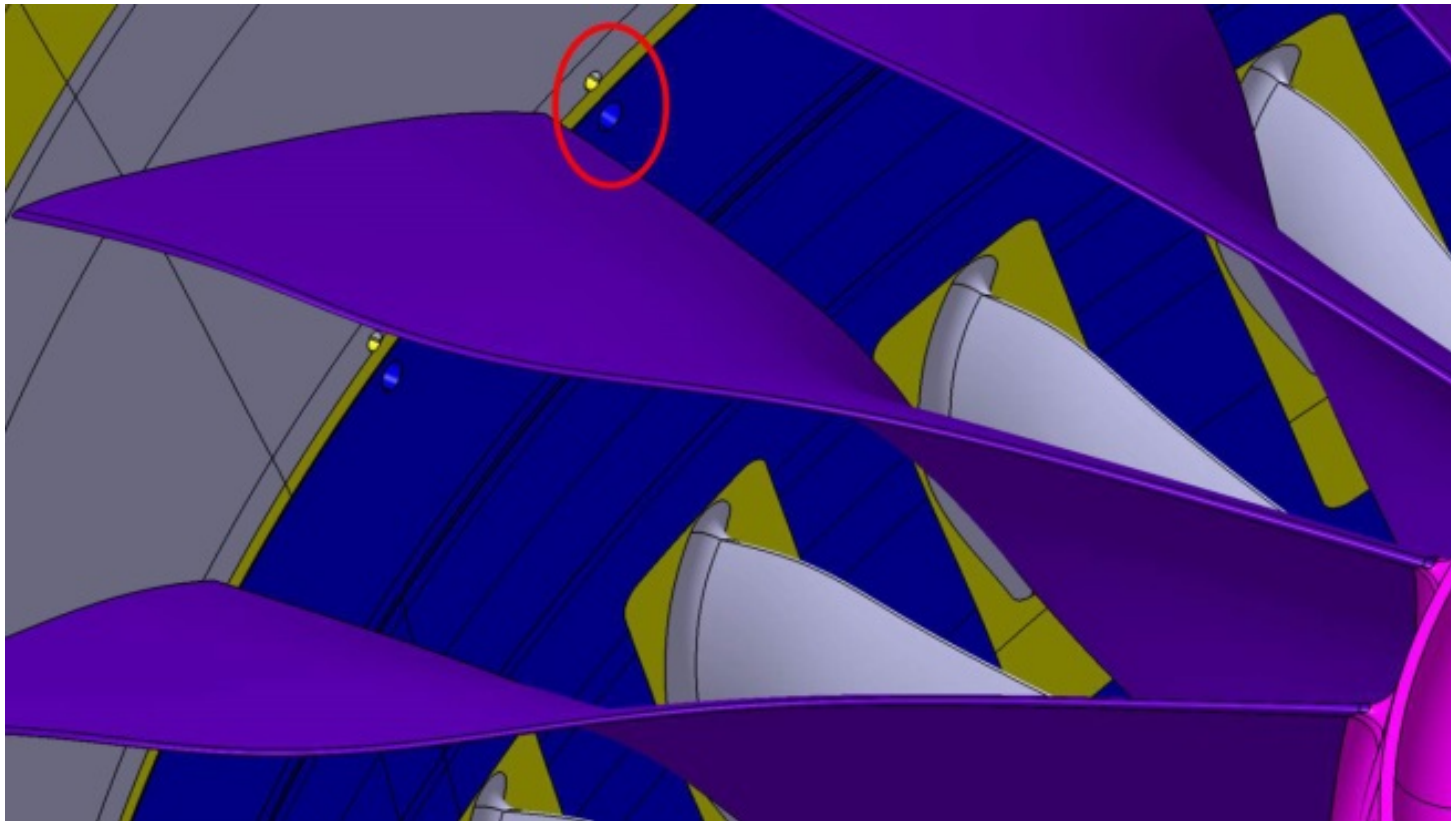
Regelung

**Schallfeld -
Synthese**

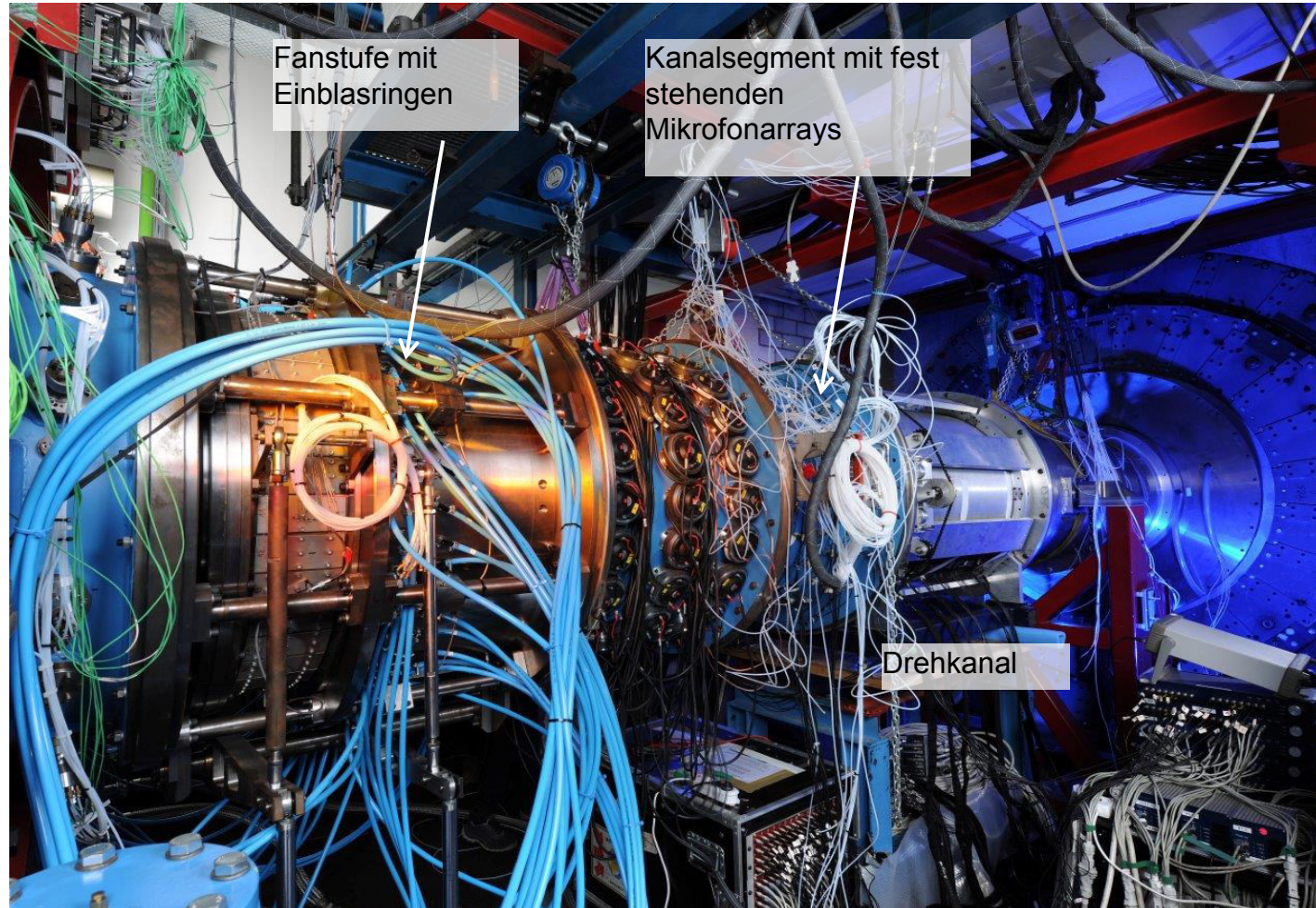


ANC mit strömungsinduzierten Gegenschallquellen

- Reduzierung der Rotor-Stator-Interaktionstöne (Primärfeld) durch Überlagerung eines gegenphasigen sekundären Schallfelds
- Stationäres Einblasen von Druckluft zwischen Rotor und Stator → Störung des Potentialfelds an den Rotorblattspitzen → Erzeugung des Sekundärschallfeldes



Großversuch

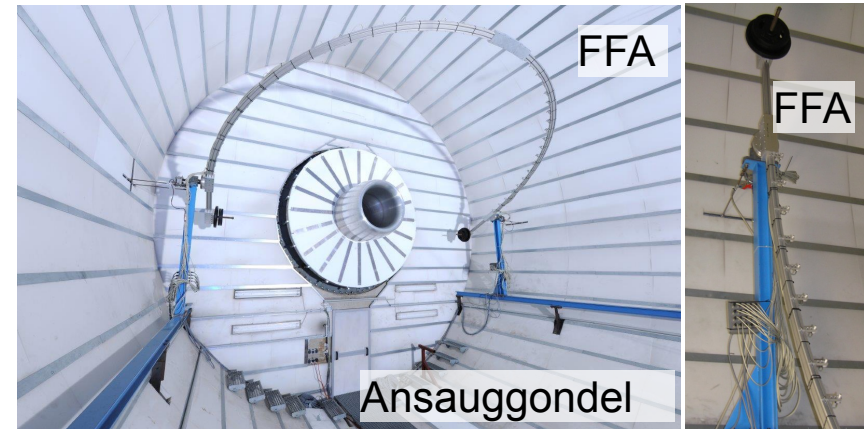


Mehrstufen-Zweiwellen-Axialverdichter-Prüfstand (M2VP)

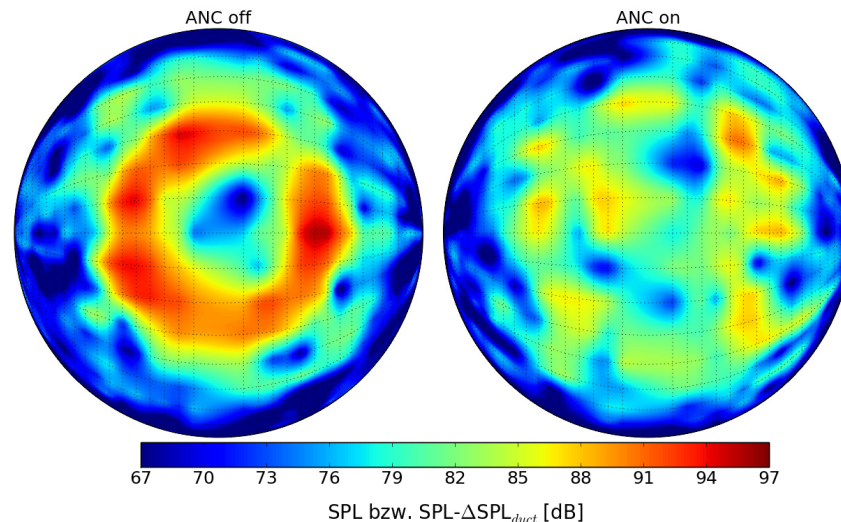


Ergebnis der Regelung

- Erfassung des in die Beruhigungskammer abgestrahlten Schalls mittels eines traversierbaren halbkreisförmigen Mikrofonarrays (Fernfeldantenne FFA)
- Traversierung des Arrays über 180°

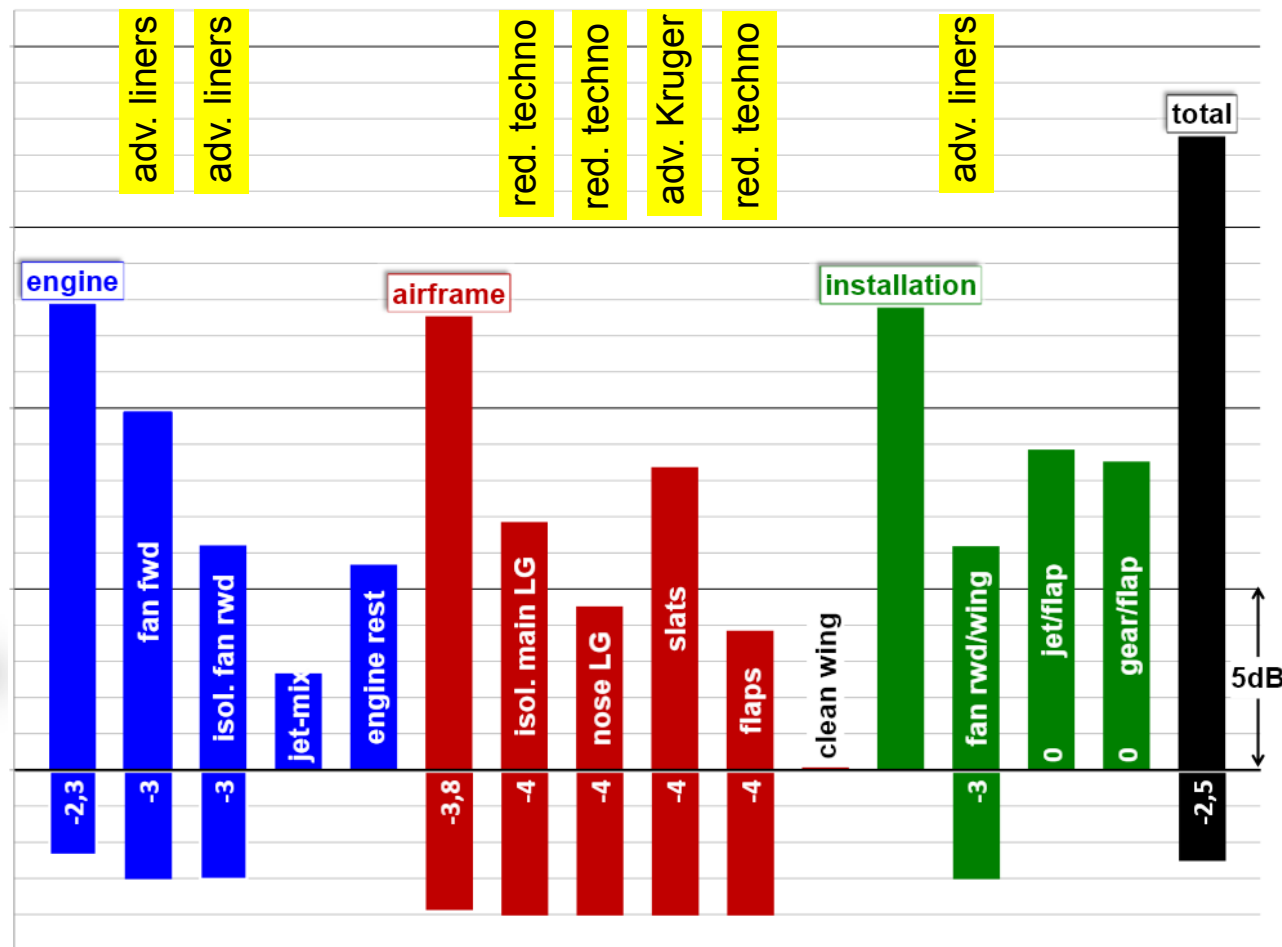
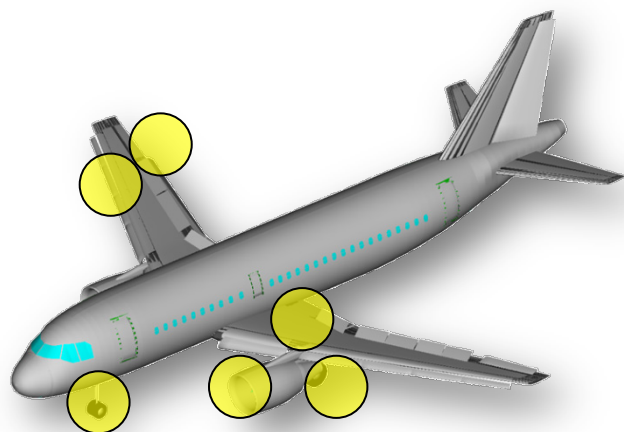


- Reduktion in den Hauptabstrahlwinkeln um 10 dB



Noise reduction at conventional a/c – conceptual approach

Short to medium range aircraft, BPR 10-12, approach

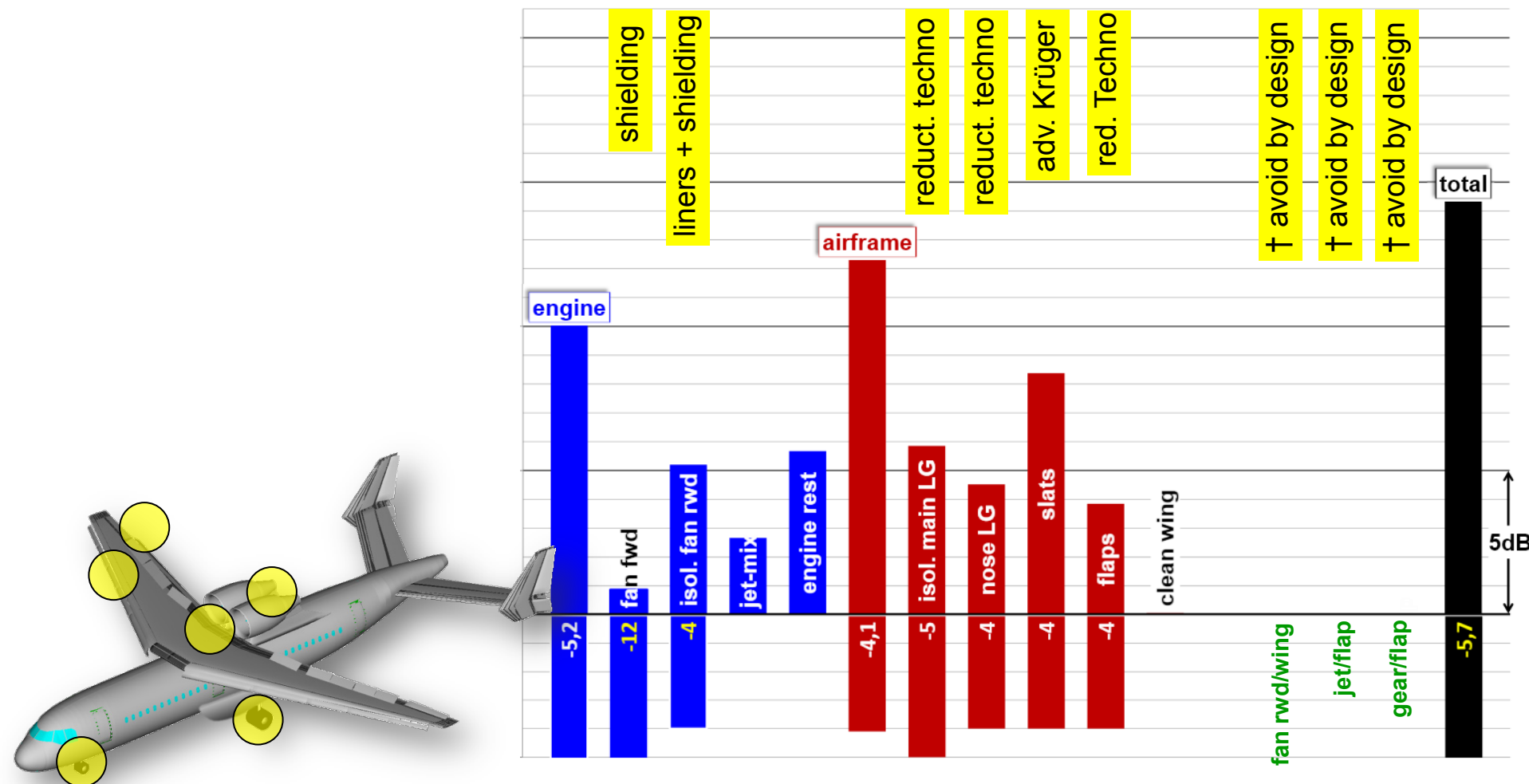


Conventional reduction technology insufficient for overall a/c noise reduction



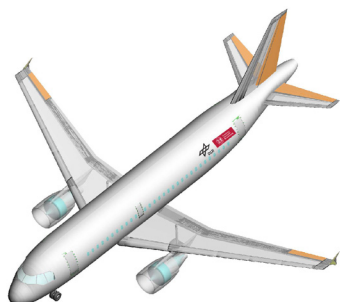
Low noise aircraft design – conceptual approach

Short to medium range aircraft, BPR 10-12, approach

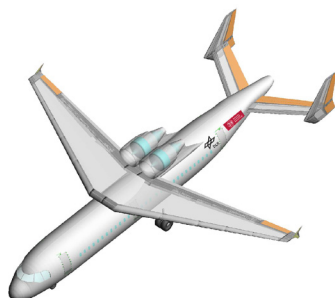
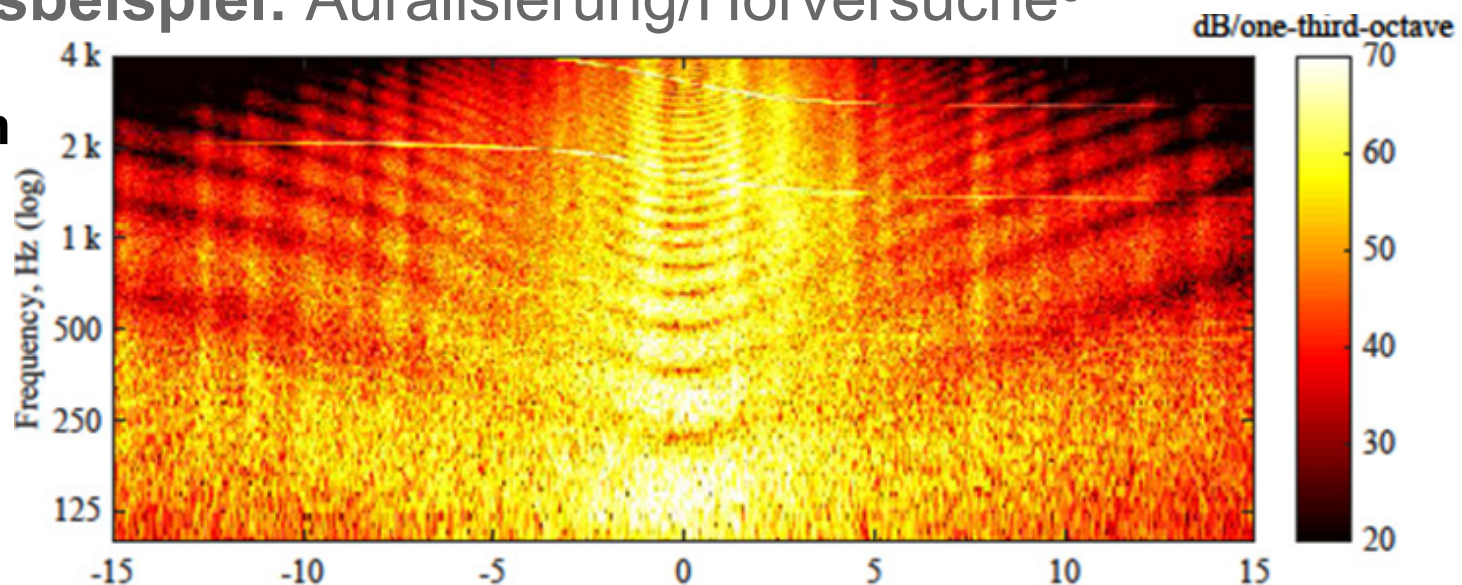


Anwendungsbeispiel: Auralisierung/Hörversuche⁵

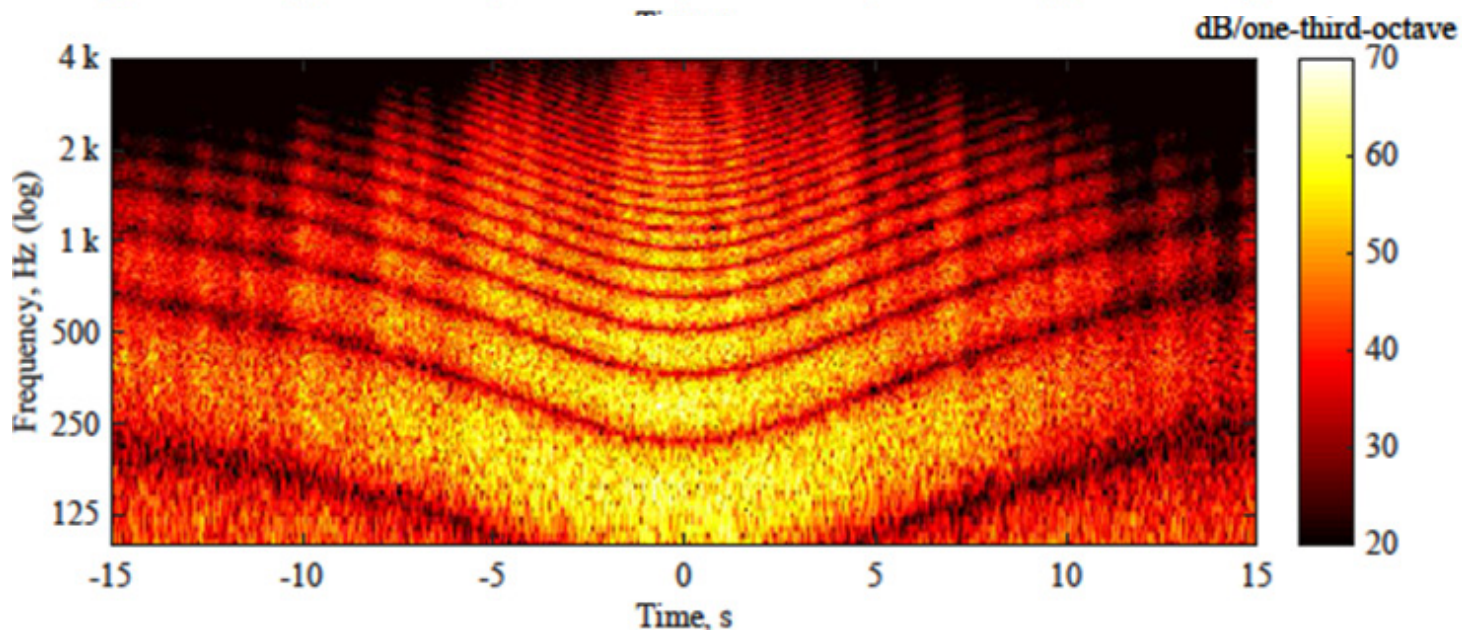
Observer @ 4 km



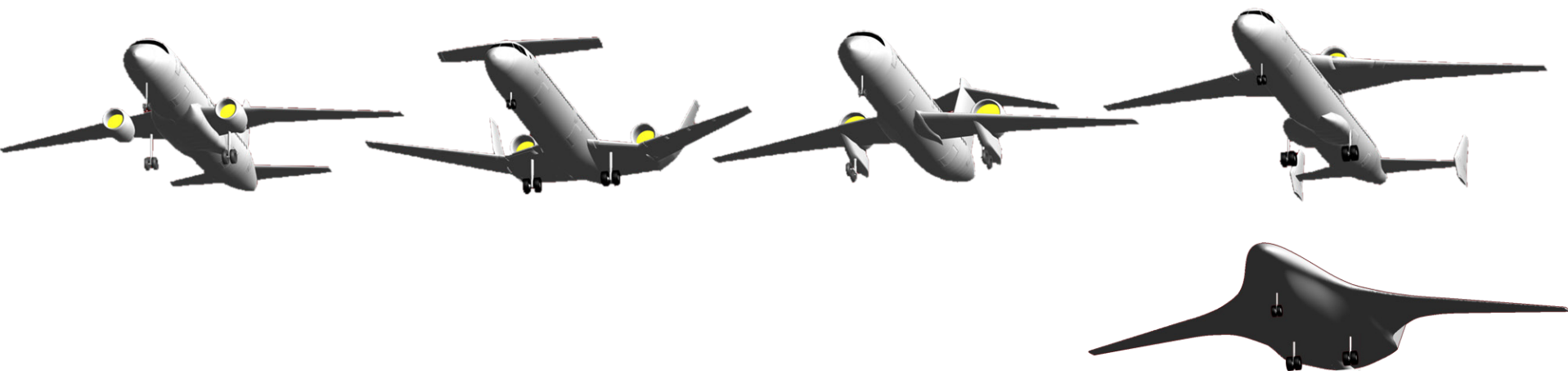
konventionell



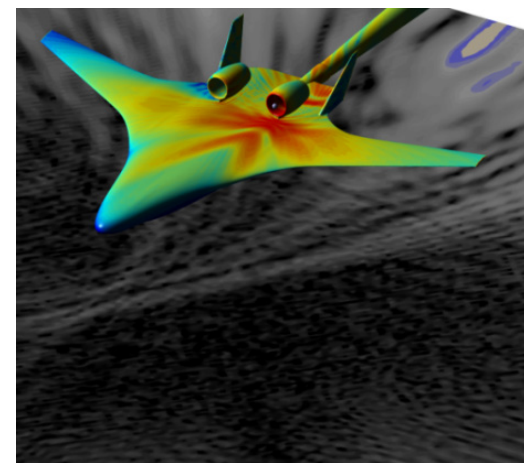
lärmreduziert



Wie sieht das leise und effiziente Flugzeug der Zukunft aus ?



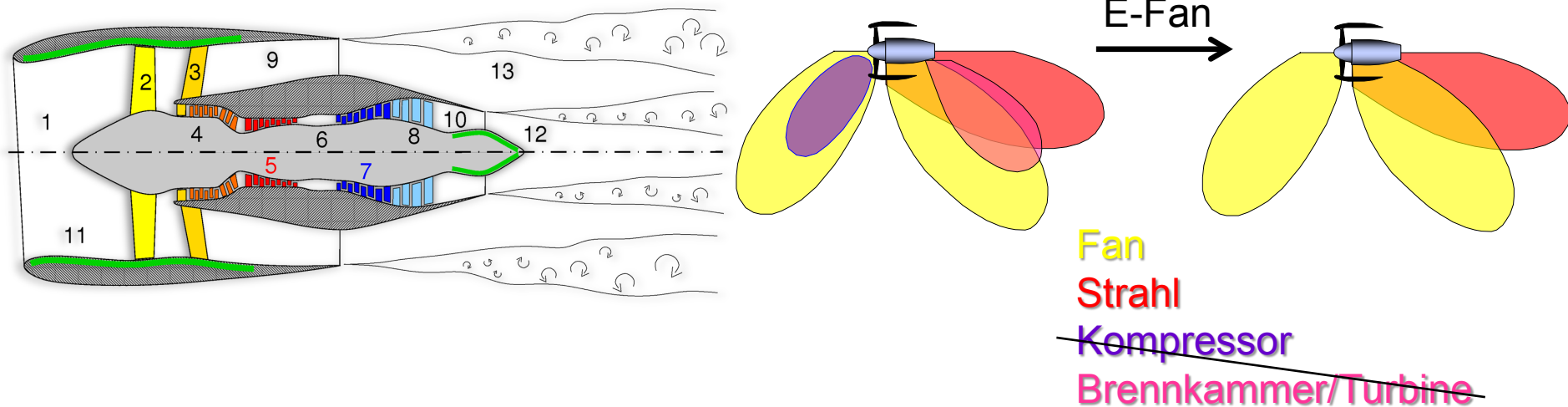
?



Elektrische Antriebe = leise?



Ersatz der Gasturbine durch E-Motor leise?

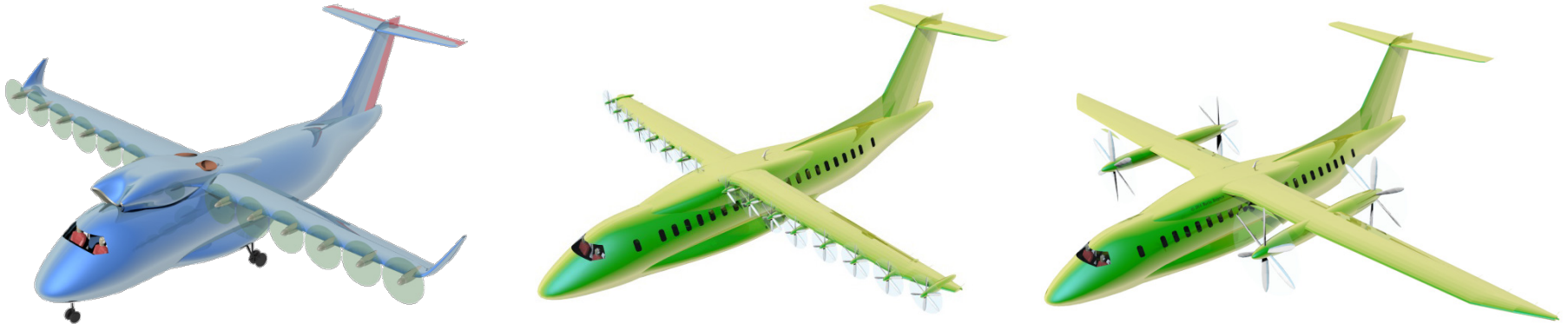


⇒ Erstmal **nein**, nicht wesentlich bei reinem Ersatz der Gasturbine
Grund: wesentliche Geräuschquellen rein aeroakustisch (anders als Auto)

⇒ Ausnahme: kolbenmotorgetriebene Propeller (Kleinflugzeuge)
wg. Vermeidung von Ungleichförmigkeit bei Rotation

⇒ **Aber:...**

Neue Entwurfsräume bei elektrischen Antrieben



M. Hepperle, DLR

- viele verteilte Propeller: wenig Blattlast → geringer Lärm
- aktuelles Forschungsthema
- Batterien nur für Regionalflugzeuge, ansonsten hybrid-elektrisch



Schlussfolgerungen

- Alle, Triebwerk, Flugwerk und Installationschallquellen wichtig
- Erheblicher Fortschritt in Lärminderungstechnologie triebwerkseitig in der Vergangenheit (am wichtigsten Strahl und Fan)
- Hocheffektive, fliegbare Lärminderungstechnologie für Fahrwerke entwickelt
- Hochauftriebssystem ist DIE Herausforderung für Landung
- Parasitäre Schallquellen relativ leicht eliminierbar
- Teilweiser Einsatz von Lärminderungstechnologie hat nur sehr begrenzten Effekt
- Triebwerke der nächsten Generation haben weniger dominante Tonanteile
- Lärmgetriebene neue Flugzeugentwürfe? Hohes Potenzial von Abschattung
- Das Lärminderungspotential elektrischer Antriebe in Verbindung mit alternativen Flugzeugarchitekturen muss erforscht werden



